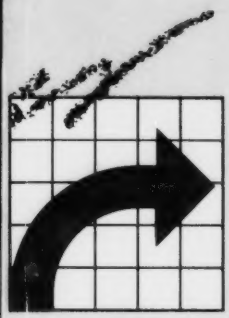
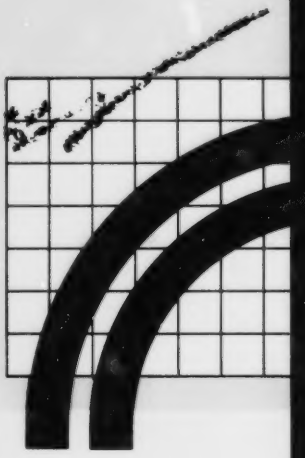
ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS



LES PROJETS D'INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES ET L'ÉROSION DES SOLS



MOZHER SORIAL
MANON LACHARITÉ

GÉNIE
ET ENVIRONNEMENT

Québec

LES PROJETS D'INFRASTRUCTURES ROUTIÈRES ET L'ÉROSION DES SOLS

90-02889/

Dépôt légal, 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-19976-6

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

FICHE ANALYTIQUE DE RAPPORT

Titre et sous-titre du rapport
Les projets d'infrastructures routières et l'érosion des sols

N° du rapport Transports Québec
RTQ-88-28

Rapport d'étape ☐ Rapport final ☒ — An 88 Mois 07 Jour 21

N° du contrat

Auteur(s) du rapport
Mozher Sorial

Date du début d'étude — **Date de fin d'étude**

Coût de l'étude

Etude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)

Service de l'environnement
Direction Circulation et Aménagements
255, Crémazie est, 8e étage
Montréal, (Québec) H2M 1L5

Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)

Ministère des Transports du Québec
700, boul. St-Cyrille Est
Québec, QC
G1R 5H1

But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires

Intégration des différents concepts de conservation des sols, sur les plans théoriques et pratiques, dans la planification, la conception et la construction des projets routiers.

Résumé du rapport

L'érosion des sols, sous l'influence de la glace, du vent et du ruissellement, est un phénomène très ancien, un phénomène qui a permis à ces agents naturels de modifier continuellement et d'une façon dynamique la morphologie de notre Terre. C'est une dynamique constante qui a toujours comme objectif d'atteindre un équilibre entre les forces extérieures qui agissent sur le milieu naturel et la résistance de ce milieu face aux modifications.

Récemment, les chercheurs ont commencé à s'apercevoir qu'à l'échelle universelle, de grandes quantités de sol sont érodées, transportées et perdues sans cesse dans les plans d'eau, les mers et les océans. Ils ont remarqué également que le phénomène de l'érosion est largement accéléré par les activités de construction dont l'homme est à l'origine. Avec cette perte perpétuelle du sol, la terre est devenue une ressource qui n'est pas inépuisable.

Les sites de construction routière, là où de grandes superficies de terrain sont laissées à découvert pendant des périodes de temps parfois considérables, n'échappent pas à cette règle.

Ce guide présente la problématique, la théorie et les calculs inhérents à l'aspect de l'érosion des sols et de ses impacts sur l'environnement, et ce, tant aux niveaux de la planification, de la conception que de la réalisation d'un projet routier.

Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
170	45	30	18	36	☒ Français ☐ Anglais	

Mots-clés
Erosion, sol, pollution, routes, protection des plans d'eau, faune aquatique

Autorisation de diffusion
☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite

Signature du directeur général — Date 88 08 05

V-1773 (85-05)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX ix

LISTE DES FIGURES xi

LISTE DES PHOTOGRAPHIES xiii

LISTE DES ANNEXES xv

PRÉFACE 1

AVANT-PROPOS 3

INTRODUCTION 5

1 PROBLÉMATIQUE ET IMPACTS 11

1.0 L'érosion hydrique: Définition 11

1.1 Le processus de l'érosion 11

1.1.1 Le détachement des particules 12

1.1.1.1 Détachement par la pluie 12
1.1.1.2 Détachement par le ruissellement 13

1.1.2 Le transport des particules 14
1.1.3 La sédimentation 15

1.2 Répercussions biophysiques, humaines et visuelles dues à l'érosion 16

1.2.1 Impacts biophysiques 16
1.2.2 Impacts humains et récréatifs 17
1.2.3 Impacts visuels et autres 18

2. ÉTUDE SUR L'ÉROSION: ÉLÉMENTS ET ÉTAPES DE RÉALISATION 23

2.1 Éléments à considérer lors de l'inventaire d'un site en fonction de l'érosion 23

2.1.1 Le climat 23
2.1.2 Le sol 24
2.1.3 Caractéristiques physiques du site 26
2.1.4 La couverture végétale 26
2.1.5 Le réseau hydrographique et ses caractéristiques 28

2.2 Étapes de réalisation d'une étude sur l'érosion 29

3. ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION 41

3.0 L'équation universelle de perte de sol 41

3.1 L'équation universelle de perte de sol modifiée 42

3.1.1 Le facteur "R" ou l'érosivité de la pluie et du ruissellement 44

3.1.1.1 Détermination de "R" mensuel 46
3.1.1.2 Évaluation de "R" pour un orage spécifique 48
3.1.1.3 Valeurs de "R" pour les eaux de fonte des neiges 52

3.1.2 Le facteur "K" ou l'érodabilité des sols 54
3.1.3 Le facteur topographique "LS" 57

3.1.3.1 Réponse de "LS" à des changements de longueur et d'inclinaison d'une pente 59

3.1.4 Le facteur "VM" ou facteur de contrôle de l'érosion 65

3.2 Méthode à suivre pour l'évaluation de l'érosion hydrique 66

3.3 Limitations relatives à l'équation de perte de sol 72

3.4 Exemple de calcul: Méthode d'évaluation quantitative pour le choix d'un tracé 73

3.4.1 Méthode d'évaluation pour un orage de 24 heures 79

3.5 Exemple de calcul: Évaluation de la quantité de sédiments érodés pour le tracé retenu 80

3.5.1 Évaluation de la fraction des sédiments érodés qui seront transportés à l'intérieur du chantier de construction 85

4. RECOMMANDATIONS 89

4.1 Recommandations générales 89

4.2 Recommandations suggérées pour intégration au Cahier des charges et devis 90

RÉFÉRENCES 93

RÉFÉRENCES UTILISÉES NON-CITÉES 97

ANNEXES

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: Étapes de réalisation d'une étude sur l'érosion 37

TABLEAU 2: Répartition absolue et relative de l'indice EI_{30} pour chaque mois de l'année à Montréal et le facteur "R" annuel correspondant 48

TABLEAU 3: Exemple de calcul de l'énergie cinétique (E) pour une pluie de 24 heures et d'une période de récurrence de 2 ans pour la région de Montréal 50

TABLEAU 4: Relation entre la pente d'un talus et l'érosion 60

TABLEAU 5: Relation entre la longueur d'un talus et l'érosion 61

TABLEAU 6: Valeurs de "LS" 64

TABLEAU 7: Valeurs de "VM" 67

TABLEAU 8: Valeurs des paramètres utilisés pour l'évaluation comparative des trois tracés étudiés 76

TABLEAU 9: Quantité de sédiments érodés par sous-bassin versant 77

TABLEAU 10: Fraction de sédiments exportés hors de chaque sous-bassin 78

TABLEAU 11: Érosion totale pour le tracé "A" 79

TABLEAU 12: Caractéristiques géométriques et physiques de cinq éléments d'un segment de route 82

TABLEAU 13: Évaluation de l'érosion pour les cinq éléments du segment de route étudié (côté droit) 84

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1:	Indice d'érosivité des précipitations (R)	45
FIGURE 2:	Courbe de distribution mensuelle de l'indice d'érosivité (EI)	47
FIGURE 3:	Données sur l'intensité, la durée et la fréquence des chutes de pluie de courte durée	51
FIGURE 4:	Relation entre EI/R et la période de récurrence	53
FIGURE 5:	Abaque pour déterminer l'indice d'érodabilité des sols (K)	56
FIGURE 6:	Abaque pour déterminer LS	58
FIGURE 7:	Relation existant entre la pente d'un talus et l'érosion	60
FIGURE 8:	Relation existant entre la longueur (L) d'un talus et l'érosion	60
FIGURE 9:	Coupe en travers d'une route	63
FIGURE 10:	Paillis non fixé au sol	69
FIGURE 11:	Paillis fixé au sol	69
FIGURE 12:	Paillis de copeaux de bois	70

FIGURE 13: Bassins versants et choix de tracé 75

FIGURE 14: Type A - Autoroute à 4 voies 81

FIGURE 15: Pourcentage de sédiments transportés en fonction de la superficie 86

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

PHOTO 1: De grandes superficies de terrain sont déboisées lors des projets de construction routière et le sol est alors soumis au plein impact des précipitations 6

PHOTO 2: Formation de rigoles sur les talus de remblai et de déblai 19

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1: Unités et facteurs de conversion des paramètres de la formule universelle de perte des sols

ANNEXE 2: Mesures d'atténuation

Parmi toutes les planètes de l'univers, il semble qu'il y a juste notre Terre qui supporte la vie. Aménageons-la avec sagesse.

M.Sorial

PRÉFACE

L'érosion des sols, sous l'influence de la glace, du vent et du ruissellement, est un phénomène très ancien, un phénomène qui a permis à ces agents naturels de modifier continuellement et d'une façon dynamique la morphologie de notre Terre. C'est une dynamique constante qui a toujours comme objectif d'atteindre un équilibre entre les forces extérieures qui agissent sur le milieu naturel et la résistance de ce milieu face aux modifications.

Récemment les chercheurs ont commencé à s'apercevoir qu'à l'échelle universelle, des grandes quantités de sol sont érodées, transportées et perdues sans cesse dans les plans d'eau, les mers et les océans.

Ils ont remarqué également que le phénomène de l'érosion est largement accéléré par les activités de construction dont l'homme est à l'origine.

Avec cette perte perpétuelle du sol, la terre est devenue une ressource qui n'est pas inépuisable, surtout si nous considérons l'importance et la rareté de la terre fertile qui supporte la vie humaine.

Comme Ministère favorisant l'aménagement judicieux de ses projets, nous avons cru bon lancer un projet de recherche sur le sujet.

Nous croyons que le présent document, en plus d'être utile pour notre propre Ministère, le sera également pour tout entrepreneur désireux de réaliser des projets de construction.

Finalement, nous souhaitons que le développement de l'expertise continue dans ce domaine et que les différents concepts de conservation des sols soient de plus en plus une partie intégrante de nos méthodes habituelles de travail au Québec. Ainsi le ministère des Transport continuera à contribuer, par ses efforts de chaque jour, à préserver cette ressource pour les générations futures.

Le chef du Service de l'environnement

Daniel Waltz, écologiste
Ministère des Transports

AVANT-PROPOS

Chaque année, des milliers de tonnes de particules de sol sont détachées et transportées par les cours d'eau et le vent et déposées à des endroits où leur présence est généralement indésirable. Le phénomène à la source de ces déplacements non souhaités de particules de sol ou de roc est l'érosion.

L'usage courant du terme érosion fait habituellement référence à l'érosion dite accélérée qui est provoquée par l'homme et qui, au niveau quantitatif et à court terme, est beaucoup plus importante que l'érosion géologique qui est le processus normal de dégradation des sols et de formation du relief.

L'érosion accélérée, dont il sera surtout question dans le présent document, a toujours été reconnue comme étant principalement l'apanage de mauvaises pratiques agricoles. On retrouve d'ailleurs à plusieurs endroits du monde des vestiges d'ouvrages, parfois très anciens, construits afin de prévenir l'érosion des terres en milieu rural. Cependant, bien que les deux soient généralement associés, l'érosion est loin d'être uniquement le fait du milieu agricole. En effet, toute activité nécessitant du déboisement et la mise à nu du sol sur une certaine période de temps crée des conditions favorables à une érosion accélérée du sol. Tous les chantiers de construction domiciliaire, routière et autres constituent donc des sites potentiels d'érosion.

Cependant, ce phénomène n'a été que très rarement pris en considération dans les projets de génie civil, faute, bien souvent, d'outils adéquats permettant d'en évaluer l'importance. Bien que l'érosion demeure un phénomène difficile à quantifier, il existe maintenant certaines méthodes expérimentales, dérivées pour la plupart de celles utilisées en milieu agricole, permettant d'estimer la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés sur un site donné.

Le présent document s'adresse plus particulièrement au personnel engagé dans les différentes étapes de réalisation des projets de construction routière, afin de faciliter l'intégration du paramètre de l'érosion dans le travail effectué et le choix des mesures de prévention appropriées.

INTRODUCTION

La conservation du sol arable constitue un objectif prioritaire pour les organismes nationaux et internationaux préoccupés par la qualité de vie des populations et la protection du patrimoine naturel. Cependant, chaque année, des milliers de tonnes de particules de sol sont arrachées et transportées par les cours d'eau et le vent à cause de mauvaises pratiques culturales, d'une déforestation accrue et du manque de mesures adéquates de protection des sols sur les chantiers de construction.

Les sites de construction routière, où de grandes superficies de terrain sont laissées à découvert pendant des périodes de temps parfois considérables, n'échappent pas à cette règle.

En effet, les travaux inhérents aux projets routiers, par exemple, bouleversent le milieu et modifient les caractéristiques de drainage et de ruissellement. Le couvert végétal est enlevé, le sol est creusé et le matériel excédentaire est empilé et laissé à nu, les pentes sont modifiées de même que les propriétés physiques du sol (voir photo 1). N'étant plus protégé par la végétation, le sol est alors soumis au plein impact des deux principaux agents d'érosion, soit le vent et l'eau.

Au Québec, comme dans la majorité des régions tempérées du globe, le phénomène de l'érosion est surtout le fait de l'eau qui tombe (pluie) et qui s'écoule à la surface du sol (ruissellement). Le vent, qui est aussi un important agent érosif, est cependant moins actif ici car les conditions climatiques sont caractérisées par une forte pluviosité répartie sur toute l'année. C'est pourquoi le présent document sera entièrement consacré au phénomène de l'érosion par l'eau.

PHOTO 1

De grandes superficies de terrain sont déboisées lors des projets de construction routière et le sol est alors soumis au plein impact des précipitations.

La première section décrit les principaux mécanismes inhérents à l'érosion et présente un survol rapide des impacts pouvant être imputés à ce phénomène. La seconde section s'intéresse plus particulièrement aux éléments influençant l'érosion et aux étapes devant être suivies pour la réalisation d'une étude sur l'érosion.

La troisième partie présente de façon détaillée l'équation universelle de perte de sol utilisée pour évaluer la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés sur l'emplacement d'un projet de construction routière donné de même que la méthode recommandée pour évaluer la fraction de sédiments transportés à l'intérieur de la zone d'étude, soit le chantier de construction en tant que tel. Des exemples de calcul sont aussi présentés.

Plusieurs mesures d'atténuation, dont les bassins de sédimentation, sont finalement présentées à l'annexe 2.

Il est à noter que, compte tenu de l'état d'avancement des travaux dans le domaine de l'érosion des sols au Québec et de la non-disponibilité des divers nomogrammes et graphiques en système métrique, le système anglais est utilisé dans le présent document. Les facteurs utilisés pour la conversion en métrique des paramètres de l'équation de perte de sol de même que les unités suggérées sont cependant présentés, à l'annexe 1.

1

PROBLÉMATIQUE ET IMPACTS

1 PROBLÉMATIQUE ET IMPACTS

1.0 L'ÉROSION HYDRIQUE : DÉFINITION

L'érosion par l'eau est définie comme étant le détachement, le transport et la sédimentation de particules de sol sous l'effet de la pluie et de son ruissellement à la surface du sol ou de l'écoulement de l'eau de fonte des neiges. Elle se produit lorsque les forces d'arrachement en présence sont plus grandes que les forces de résistance des particules de sol (Lagacé, R et al, 1980).

1.1 LE PROCESSUS DE L'ÉROSION

Tel que spécifié précédemment, trois mécanismes distincts sont à la base du phénomène de l'érosion qui peut se transcrire ainsi:

ÉROSION = DÉTACHEMENT TRANSPORT SÉDIMENTATION

Chacun de ces mécanismes est décrit avec plus de détails dans les sections qui suivent.

1.1.1 LE DÉTACHEMENT DES PARTICULES

Le détachement, dans le cas de l'érosion hydrique, est principalement le fait de l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement. Les deux ont le potentiel de détacher et de transporter les sédiments. Cependant, leurs MODI OPERANDI diffèrent grandement. Ainsi, la pluie exerce son pouvoir érosif sur toute la région où elle tombe tandis que le ruissellement n'est vraiment actif que lorsqu'il est concentré ce qui diminue de beaucoup la surface touchée. Toute la pluie qui tombe possède le potentiel d'éroder mais une fraction seulement de cette pluie ruisselle à la surface du sol. Le reste peut s'infiltrer dans le sol, être intercepté ou être stocké en surface (Dudal, R. et al, 1980).

Chaque goutte de pluie qui tombe est érosive, le ruissellement, par contre, n'a que peu d'effets tant que des milliers voire des millions de gouttelettes ne sont pas concentrées. La pluie et le ruissellement doivent donc être considérés comme étant des processus différents mais interdépendants.

Sur de petites pentes, l'effet de la pluie consiste surtout à détacher les particules de sol tandis que le ruissellement agit essentiellement comme agent de transport. Le ruissellement se transforme cependant en agent d'érosion important et le transport par la pluie augmente sur les pentes plus abruptes. (Dudal, R., et al, 1980).

1.1.1.1 DÉTACHEMENT PAR LA PLUIE

C'est l'énergie cinétique de la pluie qui est en majeure partie responsable du détachement des particules de sol. Ce mécanisme est de loin le plus efficace, bien que l'importance du détachement par le ruissellement ne puisse être ignorée (Israelsen, C.E., C.G. Clyde et al, 1980).

Les gouttes d'eau, telles des bombes miniatures, frappent le sol avec une vélocité d'environ 30 km/h (E.P.A. 1971). La force d'impact d'une goutte d'eau est égale à sa décélération multipliée par sa masse tandis que son énergie est proportionnelle à sa masse et à sa vitesse au carré. En chute libre, la vitesse de cette goutte d'eau est d'autant plus grande que la goutte est grosse (Lagacé, R. et al, 1980).

Le pouvoir érosif d'une précipitation augmente avec le diamètre moyen des gouttes de pluie, une goutte véhiculant d'autant plus d'énergie qu'elle est massive. Il est important de noter que le diamètre des gouttes est lié de façon directe à l'intensité et non pas à la quantité de pluie qui tombe. Ce concept est particulièrement important pour le Québec puisque Dubé (1975) estime que 80 à 85 % de l'érosion des sols durant la saison estivale est le fait de cinq à six orages. Ainsi, une goutte de pluie de 5 mm de diamètre possèderait 43 % plus d'énergie cinétique qu'une goutte de 1 mm.

Les particules de sol ainsi détachées sont ensuite soit emportées par le ruissellement, ou si l'eau s'infiltre, déposées. Elles formeront alors une croûte (battance) qui sera de moins en moins perméable lors des prochaines précipitations (compaction).

1.1.1.2 DÉTACHEMENT PAR LE RUISSELLEMENT

Le ruissellement augmente au fur et à mesure que le sol est compacté par l'impact des gouttes de pluie. En effet, l'impact de la pluie tombant pendant une période de 1 à 5 minutes fait décroître l'infiltration à un degré tel que même dans les sols sableux, près de 98 % de l'eau de pluie ruisselle en surface (E.P.A., 1971).

L'effet dévastateur d'une pluie orageuse dépend, en plus de son intensité et de sa quantité, de la morphologie du terrain. Ainsi, le degré d'inclinaison et la longueur des pentes influent sur la vitesse d'écoulement de l'eau. Cette dernière, en effet, n'a pas le temps, sur une pente courte, d'atteindre une vitesse d'écoulement suffisante pour entraîner des particules de sol. La microtopographie du terrain, de son côté, favorise la concentration du ruissellement. Un écoulement concentré est plus dynamique et possède l'énergie nécessaire pour éroder et transporter des sédiments. Si l'énergie disponible est plus grande que la masse de sédiments transportés, l'eau en déplacement va éroder ces sédiments jusqu'à l'obtention d'un chargement équivalent à sa capacité de transport.

Les propriétés intrinsèques du sol influent aussi sur la sensibilité qu'aura celui-ci à l'érosion. Parmi ces propriétés, la teneur en eau et la texture du sol sont parmi les plus importantes. Basée sur la granulométrie du matériel meuble, la texture du sol détermine sa structure, sa cohésion, sa plasticité et sa porosité.

1.1.2 LE TRANSPORT DES PARTICULES

Tel que déjà spécifié, le transport des particules de sol détachées se fait principalement par le biais du ruissellement de l'eau à la surface, particulièrement lorsque celui-ci est concentré. Cette capacité de transport provient du surplus d'énergie des forces de cisaillement qui ne sont pas dissipées sur le fond par frottement.

L'impact des gouttes de pluie sur le sol constitue un agent de transport beaucoup moins important que le ruissellement. Il n'est par ailleurs significatif que sur les pentes dont la raideur est de 2:1 ou plus. L'impact des gouttes de pluie peut projeter une particule de sol à plus de 1.5 m de son point d'origine.

L'eau de pluie ne ruisselle à la surface que lorsque l'intensité de la pluie excède le taux d'infiltration du sol. Cependant, une fois que le ruissellement a débuté la quantité de particules de sol transportées est en fonction, entre autres, de la vitesse du ruissellement et de la turbulence qui sont fortement influencées par la raideur de la pente, la dimension, la forme et la densité des sédiments transportés de même que par la rugosité de la voie d'eau (Dudal, R., et al, 1980).

Selon Israelsen, C.E. et al (1980), l'eau s'écoule au bas d'une pente de 2½:1 à une vitesse deux fois supérieure à celle s'écoulant sur une pente de 10:1. Le fait de doubler la vitesse entraîne une augmentation quatre fois supérieure de l'énergie de l'écoulement et la dimension des particules qui pourront alors être transportées est augmentée de 64 fois tandis que la masse du sol pouvant être prise en charge sera 32 fois plus élevée.

L'eau, par la force de sa dynamique, "gruge" le fond et les côtés de la rigole, du ravin ou du cours d'eau afin de détacher plus de sédiments et ce, tant que sa capacité de transport n'est pas atteinte. Par contre, lorsque le chargement en sédiments excède ladite capacité de transport, une partie des sédiments sont alors déposés.

1.1.3 LA SÉDIMENTATION

La sédimentation ou déposition des particules érodées se produit lorsque la vitesse de l'écoulement ou la turbulence diminuent de façon significative ou que le chargement en particules est supérieur à la capacité de transport du courant. Les particules transportées se déposent alors à une distance variable du site de construction dépendamment de leur grosseur, de leur densité et de la force du courant. Les

particules les plus grosses et les plus denses se déposent en premier et les plus fines en dernier, puisque ces dernières peuvent demeurer en suspension fort longtemps dans le cours d'eau. Par conséquent, le fait de connaître la dimension et la densité des particules érodées permet de déterminer la fraction de sédiments qui sera déposée le long des voies d'écoulement ou dans les bassins de sédimentation et la distribution des dimensions des particules fines constituant le reste du chargement. Ces données sont très importantes dans la détermination du trajet éventuellement suivi par les particules érodées dans le système d'écoulement et lors de l'évaluation de la quantité de sédiments qui seront retrouvés en bout de ligne. (Dudal, R., et al, 1980).

1.2 RÉPERCUSSIONS BIOPHYSIQUES, HUMAINES ET VISUELLES DUES A L'ÉROSION

1.2.1 IMPACTS BIOPHYSIQUES

L'érosion, qui déjà de par la perte de sol qu'elle occasionne constitue en soi un impact considérable, est aussi la source de nombreux autres problèmes. Ainsi, dépendamment de l'endroit où seront déposées les particules (rivières, lacs, terres publiques ou privées,...), la nature et l'importance des impacts varieront.

Les écosystèmes aquatiques sont les plus susceptibles d'être perturbés par l'érosion et ce, tant par le biais des sédiments qui restent en suspension dans le milieu que de ceux qui se déposent et recouvrent le fond des lacs et des cours d'eau. En effet, un apport important de sédiments fins en suspension dans un plan d'eau augmente la turbidité de ce dernier et modifie l'environnement existant de façon importante (diminution de la transparence de l'eau et de la profondeur à laquelle se rend la lumière, baisse de l'oxygène dissous due au réchauffement de l'eau, modification de la stratification thermique,...).

De plus, au fur et à mesure que les particules érodées se déposent au fond du plan d'eau ou du cours d'eau, elles créent un environnement défavorable pour les organismes qui y vivent

et forment une couche souvent létale sur les oeufs des poissons et autres organismes aquatiques. Ainsi, en plus de nuire de façon directe aux poissons, crustacés et autres organismes, un apport excessif de sédiments dans un cours d'eau est donc susceptible de détruire des habitats ou parties d'habitats de ces organismes (frayères, sources d'alimentation, ...).

Un autre impact important directement lié à l'érosion provoque la formation de nutriments et de polluants, dont des métaux lourds, pouvant être absorbés sur les particules fines et transportés dans les cours d'eau. Il peut s'ensuivre, entre autres conséquences, une eutrophisation plus rapide des plans d'eau surtout si de l'azote et du phosphore sont au nombre des nutriments. Les métaux lourds et autres polluants sont, quant à eux, susceptibles d'être assimilés par les organismes aquatiques et de se retrouver dans la chaîne alimentaire jusqu'à l'homme.

1.2.2 IMPACTS HUMAINS ET RÉCRÉATIFS

Les polluants liés à l'érosion nuisent à la pêche en eau douce car, tel que démontré précédemment, ils contribuent à réduire les populations de poissons (destruction de frayères, d'habitats,...) et favorisent le remplacement des poissons recherchés par les pêcheurs, tel la truite, par des espèces de moindre valeur et intérêt au niveau sportif. De plus, la pêche est, de façon générale, moins fructueuse en eau turbide qu'en eau claire car les poissons ont alors plus de difficulté à voir les leurres. La pêche récréative en mer subirait aussi, selon E.H. Clark (1985), les contrecoups de l'érosion car de nombreuses espèces de poissons marins se reproduisent dans les estuaires et les rivières.

L'envasement et la prolifération des algues interfèrent avec le canotage et la nage, sans compter que la pratique de ces activités est certainement moins plaisante dans des lacs et des rivières polluées que dans des eaux claires.

Les coûts de filtration des eaux augmentent aussi de façon significative à cause de la présence de sédiments en quantité excessive dans les cours d'eau.

De plus, plusieurs problèmes sont occasionnés par l'accumulation de sédiments à l'intérieur des fossés de drainage des routes de même que dans les conduites souterraines et les égouts pluviaux. Il arrive, en effet, qu'une certaine fraction des sédiments transportés se dépose dans les fossés de drainage avant que l'eau n'atteigne les voies d'eau naturelles. Une étude entreprise en Illinois a révélé que la quantité de sédiments récupérés chaque année dans les fossés de drainage est équivalente à 1,4 % de l'érosion totale se produisant dans cet état (E.H. Clark, 1985).

En dernier lieu, une quantité importante de sédiments dans les cours d'eau a aussi comme répercussion d'augmenter la fréquence et la hauteur des inondations de même que l'importance des dommages occasionnés, plus particulièrement lorsque du limon est ainsi déposé sur des terres agricoles. La productivité de ces dernières est alors généralement fortement diminuée.

1.2.3 IMPACTS VISUELS ET AUTRES

Tel que déjà spécifié, le laps de temps laissé entre les travaux de déboisement et de terrassement et la revégétation du site de construction est de façon générale amplement suffisant pour que des impacts, parfois fort importants et imputables à l'érosion, se produisent. Parmi ces impacts, on remarque la formation de rigoles et de ravins inesthétiques sur les talus de déblais (voir photo 2) et la présence, tout aussi désagréable à voir, de sédiments donnant une apparence turbide et polluée à l'eau des étangs, des réservoirs, des

lacs et des cours d'eau situés à proximité de la route. De plus, un tel apport de sédiments est susceptible d'entraîner le comblement des fossés de la route et des ouvrages de drainage temporaires. La dégradation de l'emprise des chantiers et les dommages occasionnés en bordure des ouvrages d'art augmentent aussi de façon significative les coûts de construction ou de réaménagement de la route.

PHOTO 2

Formation de rigoles sur les talus de remblai et de déblai

2

ÉTUDE SUR L'ÉROSION: ÉLÉMENTS ET ÉTAPES DE RÉALISATION

2 ÉTUDE SUR L'ÉROSION: ÉLÉMENTS ET ÉTAPES DE RÉALISATION

2.1 ÉLÉMENTS A CONSIDÉRER LORS DE L'INVENTAIRE D'UN SITE EN FONCTION DE L'ÉROSION

L'érosion est le fait d'un ensemble de facteurs dont les caractéristiques permettent de déterminer l'importance que prendra le phénomène. La prise en considération de ces facteurs permet au planificateur d'un projet routier ou autre d'éva-

2.1.1 LE CLIMAT

Dans les régions tempérées comme le Québec, la pluie, en termes d'intensité et de quantité, constitue sans doute l'élément météorologique le plus important à considérer en relation avec l'érosion. L'érosivité de la pluie, c'est-à-dire sa capacité d'éroder ou son pouvoir érosif, dépend en majeure partie de l'intensité de l'eau qui tombe. Ainsi, une bruine durant plusieurs jours peut représenter finalement une hauteur de pluie importante mais n'entraîner aucune érosion. Inversement, une pluie très intense pourra entraîner une forte érosion même si elle a été de courte durée et d'une hauteur totale relativement faible (Henensal, P., 1986).

La quantité de pluie qui tombe peut aussi influer, mais de façon indirecte, sur l'importance que prendra l'érosion à un

endroit donné. En général, un plus grand volume de précipitation provoque un plus grand volume de ruissellement et nécessairement une plus grande érosion (Lagacé et al, 1980). Les conditions météorologiques antérieures doivent aussi être prises en considération car le potentiel érosif de deux précipitations identiques variera de façon significative dépendamment de la capacité de stockage du sol. Un sol saturé de l'eau des précipitations précédentes n'aura aucune capacité d'absorption et le ruissellement débutera beaucoup plus tôt.

L'eau de fonte des neiges au printemps constitue un autre agent d'érosion important au Québec, surtout lorsque les travaux sur un chantier de construction fermé à l'automne doivent reprendre à la fin de l'hiver.

Le sol est bien souvent encore gelé en profondeur et l'infiltration s'en trouve d'autant diminuée. Le sol de surface laissé à nu la saison précédente subissant le premier le dégel est alors rapidement pris en charge par les eaux de fonte entraînant une érosion souvent importante à moins que le chantier n'ait été protégé de facon adéquate avant sa fermeture.

2.1.2 LE SOL

La nature du sol constitue un autre facteur important à considérer dans l'évaluation d'un site de projet. Cet élément prend encore plus d'importance si les sols érodables identifiés se retrouvent sur des versants dont les pentes varient de modérées à abruptes.

Parmi les caractéristiques devant plus particulièrement être considérées et qui constituent en quelque sorte les facteurs de résistance du sol à l'érosion, on retrouve selon Henensal (1986):

- Les paramètres structuraux du sol: agrégation en mottes, fissures, porosité, compacité, teneur en eau, perméabilité.

La résistance des agrégats à l'impact des gouttes de pluie constitue un atout contre l'érosion car ils sont alors plus difficiles à briser et à transporter par l'eau. Cette résistance est dépendante de la présence d'agents liants tels que l'argile, la matière organique et le calcium. Ceci nous amène à considérer une deuxième série d'éléments, qui comprend:

- Les paramètres physico-chimiques du sol: argilosité, richesse ionique de l'eau dans le sol.

Le dernier groupe mentionné par Henensal comprend:

- Les paramètres texturaux du sol tels la granulométrie et la plasticité.

En dernier lieu, l'état général du sol, c'est-à-dire son état de conservation par rapport à l'équilibre naturel qu'il avait permet aussi de présager la résistance qu'il sera susceptible d'offrir à l'érosion.

La présence d'un horizon de sol particulièrement sensible à l'érosion sur un site donné, bien que constituant un élément primordial à prendre en considération, peut cependant être difficilement reconnaissable parce qu'il est situé sous un horizon présentant des caractéristiques différentes ou masqué par la présence de végétation. Cet horizon sera alors mis à jour lors des travaux de déboisement et de décapage, laissant libre cours, s'il pleut, à une érosion d'autant plus accélérée que non prévue. C'est pourquoi il est toujours recommandé de procéder à une étude exhaustive des sols d'un site de construction projeté, surtout si des aires particulièrement

sensibles sont répertoriées en aval et si les travaux doivent s'étendre sur une période de temps relativement longue.

Généralement, les sols cohésifs de texture fine sont plus difficilement détachables que ceux non-cohésifs, mais par contre, une fois détachés, ils sont plus facilement transportés. Les sols de texture plus grossière ne sont pas agglomérés de façon aussi solide à la masse de sol mais ils bénéficient généralement d'une plus grande capacité d'absorption et favorisent, par le fait même, moins de ruissellement. Il ressort de ces observations que les sols de texture médiane tels les loams et les silts loameux sont, de façon générale, plus sensibles à l'érosion que les sols ayant un pourcentage élevé de sable ou d'argile (Dudal, R., et al, 1980).

2.1.3 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DU SITE

Les caractéristiques physiques d'un site donné les plus pertinentes à une étude sur l'érosion sont les pentes existantes prévues dans le projet et leurs longueurs. Il ne se produit, en effet, que peu ou pas d'érosion sur un terrain plat, les particules détachées par les gouttes de pluie (battance) demeurant sur place. En contrepartie, la majorité des auteurs s'entendent pour dire que plus la pente est forte, plus l'érosion est importante.

La longueur de la pente influe aussi sur l'importance que prendra l'érosion à un endroit donné car elle favorise l'augmentation des vitesses d'écoulement, et par le fait même l'action érosive du ruissellement.

2.1.4 LA COUVERTURE VEGETALE

Une couverture végétale dense et bien implantée prévient toujours l'érosion, même sur des sols particulièrement sensibles.

Limiter le déboisement au strict minimum nécessaire sur les sites de construction constitue donc toujours un moyen de prévention efficace. En fait, toute couverture végétale tend à diminuer la force de frappe de la pluie, augmente l'infiltration et la stabilité structurale du sol et ralentit la vitesse de ruissellement (Lagacé, R. et al., 1980).

Il est possible de distinguer trois types de couvertures du sol en rapport avec la présence ou l'absence de végétation et selon un ordre croissant de sensibilité à l'érosion:

- La forêt, qui peut être constituée de conifères, de feuillus ou d'un mélange variable des deux (forêt mixte). Peu d'études concluantes ont été réalisées jusqu'à maintenant concernant les différences de sensibilité des sols forestiers à l'érosion.

- Les terres agricoles, regroupent les terres cultivées et celles pouvant l'être ou l'ayant déjà été (friches).

Golubev (1983) mentionne que l'érosion sur les terres cultivées est 10 fois supérieure à celle qui se produit dans les pâturages et 100 fois supérieure à celle existant en forêt. Les terrains agricoles avec plantes sarclées seraient les plus exposés à l'érosion.

- Les terres dénudées, où la végétation est totalement inexistante ou presque. Ces dernières présentent la plus grande sensibilité à l'érosion et doivent être protégées de façon adéquate afin de limiter la perte de sol pendant et après les travaux de construction.

La présence d'une couverture végétale dense d'herbes, d'arbustes et d'arbres demeure le moyen le plus efficace pour prévenir l'érosion sur les pentes abruptes, dans les fossés et le long des voies de drainage.

Selon l'Environmental Protection Agency (1972) des États-Unis, la végétation existant sur un site de projet donné

devrait même être évaluée selon le degré de protection qu'elle assure contre l'érosion. Ainsi, par exemple, si des pentes abruptes, sujettes à une forte érosion lorsque dénudées; sont couvertes de végétation naturelle, les planificateurs doivent éviter de toucher au site en question ou, s'ils n'ont vraiment pas le choix, doivent le faire avec un maximum de précautions.

IL est aussi recommandé de conserver une bande de protection le long des cours d'eau et autour des plans d'eau. Une telle bande agit en tant que stabilisateur du sol et permet de filtrer les eaux chargées de sédiments s'écoulant vers ces récepteurs (E.P.A., 1972).

2.1.5 LE RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE ET SES CARACTÉRISTIQUES

La présence de cours d'eau et de lacs doit être l'objet d'une attention particulière lors de tout inventaire physique d'un site en rapport avec l'érosion.

En effet, ces derniers ne constituent pas seulement les milieux récepteurs des sédiments provenant des chantiers de construction. Ils sont le mode de transport privilégié desdits sédiments vers les terres privées et publiques et les plans d'eau situés en aval. Ils contribuent aussi à augmenter la charge de sédiments en érodant les rives et en dégradant les voies d'eau (E.P.A., 1972).

Le régime hydraulique des cours d'eau inventoriés constitue aussi un important facteur à connaître car toute modification apportée à la morphologie du bassin versant, aux caractéristiques physiques du sol ou au couvert végétal, est susceptible

d'entraîner un changement sur les débits enregistrés. Ainsi, une augmentation de la superficie du bassin aura le même effet de hausse sur le débit qu'une baisse de la perméabilité des sols. Si le débit est plus élevé, la capacité érosive du cours d'eau augmente alors et les particules sont susceptibles d'être transportées plus loin.

En dernier lieu, une bonne connaissance de l'utilisation et de la qualité de l'eau en aval du site des travaux permet d'évaluer et de prévenir tout impact qu'une augmentation de la turbidité et de la sédimentation risque de produire sur la faune et la flore aquatiques de même que sur la pratique de certaines activités (baignade, pêche,...).

2.2 ÉTAPES DE RÉALISATION D'UNE ÉTUDE SUR L'ÉROSION

L'érosion sur les chantiers de construction, pendant et après les travaux autoroutiers ou autres, constitue un phénomène qui n'a été que rarement approfondi dans les études d'impact réalisées jusqu'à maintenant, faute, bien souvent, de données et de méthodes adéquates. Le phénomène de l'érosion constitue, toutefois, une source importante d'impacts, tel que cela a été démontré au chapitre premier, qui devrait être intégré dans toutes les études de répercussions environnementales, au même titre que le remblayage dans un cours d'eau ou la traversée d'un groupe de chevreuils. Dans certains cas, ce phénomène pourrait même constituer un élément discriminant dans le choix d'un tracé.

La réalisation d'une étude et des impacts appréhendés sur l'érosion pouvant se produire sur un site de construction donné et des impacts appréhendés se fait en une série d'étapes, où se côtoient bon jugement et traitement informatique, et nécessitant l'intervention de plusieurs spécialistes. Ces différentes étapes sont présentées dans les lignes qui suivent. Certaines d'entre elles comportent des sections ultérieures où elles sont explicitées plus en détail. C'est le cas notamment de la méthode quantitative utilisée pour évaluer l'érosion, des bassins de sédimentation et des mesures d'atténuation.

ÉTAPE 1: . Évaluation qualitative de la susceptibilité des sites étudiés à l'érosion et aux travaux de construction projetés.

. Identification des récepteurs-cibles et des impacts appréhendés pour chacun des tracés étudiés.

Cette première étape combine à la fois l'évaluation qualitative de la sensibilité d'un site à l'érosion et la détermination des impacts à appréhender, car les deux se font par la biais d'inventaires réalisés sur les sites de projets étudiés.

Il convient, afin de déterminer les risques d'érosion à un endroit donné et les impacts susceptibles de se produire, de procéder à l'évaluation qualitative d'une série de facteurs dont les cinq principaux ont été présentés de façon détaillée à la section précédente, soit:

- Le climat, particulièrement l'intensité et la quantité de pluie qui tombe;

- Le type de sol et ses caractéristiques;

- La couverture végétale;

- La topographie (inclinaison et longueur des pentes en présence);

- Le réseau hydrographique et ses caractéristiques (cours d'eau, plans d'eau, caractéristiques hydrauliques, frayères,...).

Pour ce faire, il est recommandé d'avoir recours aux outils d'inventaire habituellement utilisés dans ce genre d'étude et de compléter la recherche d'information par une visite du terrain lorsque cela s'avère nécessaire.

Les principaux outils utilisés sont les photographies aériennes, les cartes et relevés topographiques, pédologiques, géologiques et d'utilisation du sol. A ceci s'ajoutent, afin de déterminer les impacts susceptibles de se produire, les inventaires biologiques concernant la localisation des zones de frai et d'alimentation de la faune ichtyenne ainsi que les plans municipaux indiquant l'emplacement des prises d'eau potable. Les données concernant les sites de villégiature ainsi que l'utilisation et la qualité générale de l'eau en aval du chantier de construction permettent de compléter la cueillette d'informations. Ceci permet alors une meilleure définition des impacts à appréhender advenant un fort apport de sédiments en provenance du chantier de construction.

En dernier lieu, il est important que la distance existant entre les zones plus fragiles à l'érosion (frayères, aires de baignade,...) et le chantier de construction soit déterminée. L'intensité des impacts pouvant se produire est, en effet, inversement proportionnelle à l'éloignement de la source desdits impacts.

Dépendamment des caractéristiques du milieu récepteur, il pourra aussi s'avérer important de vérifier si des plaintes ont déjà été adressées aux municipalités relativement à des problèmes liés à l'érosion.

La réalisation de cette première étape permet une première délimitation de ce qui sera appelé à devenir la zone d'étude.

ÉTAPE 2: . Comparaison des tracés étudiés

. Choix du tracé de moindre impact

Suite à l'évaluation réalisée à l'étape précédente et à la comparaison des données obtenues pour chacun des tracés étudiés, il convient, en deuxième étape, de déterminer le

tracé de moindre impact en terme d'érosion. Pour ce faire, il est possible de procéder de façon qualitative lorsque les informations recueillies à la première étape permettent une comparaison éclairée des tracés étudiés. Ceci n'est toutefois pas toujours possible car les tracés sont souvent situés à l'intérieur d'un même bassin hydrographique et possèdent sensiblement les mêmes caractéristiques pédologiques, pluviométriques et autres. Il est alors préférable de procéder à une évaluation quantitative rapide de la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés pour chacun des tracés. La méthode recommandée à cet effet est présentée à la section suivante.

L'érosion ne constitue, toutefois, qu'un des facteurs considérés dans une étude d'impacts. Ce n'est qu'une fois que tous ces facteurs (impacts biophysiques, humains, visuels,...) ont été évalués pour chacune des options étudiées que le tracé final est enfin retenu. Ce dernier, qui normalement devrait entraîner le moins d'impacts par rapport à l'ensemble des facteurs étudiés, peut cependant ne pas être celui qui aurait été retenu si seule l'érosion avait été considérée.

ÉTAPE 3: . Évaluation quantitative de l'érosion pour le tracé retenu. (Quantité de sédiments qui seront érodés).

Cette évaluation se fait par le biais de l'équation universelle de perte de sol modifiée de façon à pouvoir être appliquée aux travaux de génie civil. Cette équation et ses modalités de résolution sont expliquées en détail à la section 3.

Il est essentiel de connaître la géométrie projetée de la route à cette étape-ci de l'étude, et plus particulièrement les pentes des talus, afin de procéder aux calculs.

Ces calculs se font sur toute la longueur du tracé projeté qui est divisé en sections possédant les mêmes caractéristiques géométriques. Le cumulatif des données obtenues dans chacune des sections fournit un bon ordre de grandeur de la quantité de sédiments qui seront érodés sur l'ensemble d'un chantier de construction.

ÉTAPE 4: . Estimation de la quantité de sédiments qui seront transportés à l'intérieur de la zone d'étude.

Une fois la quantité de sédiments érodés connue, il est possible d'estimer la fraction de ces sédiments qui sera prise en charge et transportée d'un point à l'autre de la zone d'étude (bassin(s) versant(s)), telle que grossièrement définie à l'étape 1.

Il est aussi possible à cette étape-ci de déterminer si les récepteurs-cibles identifiés précédemment sont réellement susceptibles d'être touchés et par quels types de sédiments (particules fines, grossières,...). L'incidence des impacts et leur intensité peuvent donc être évaluées. Il est possible, par le fait même, de procéder à une meilleure délimitation de la zone d'étude réelle du projet.

ÉTAPE 5: . Détermination du degré acceptable de perturbation environnementale avant mitigation.

Ce "degré" ou intensité acceptable de perturbation peut être dans un lac, par exemple, en fonction du niveau de ppm pouvant être atteint sans entraîner de répercussions graves dans le milieu récepteur. Cette "norme", qu'on cherchera à respecter lors du choix des mesures d'atténuation, nécessite la prise en considération de nombreux facteurs et plusieurs spécialistes (biologiste, chimiste,...) peuvent être appelés à se prononcer sur sa valeur.

ÉTAPE 6: . Choix des mesures d'atténuation les plus appropriées selon le site et le projet étudiés.

. Calcul de la quantité de sédiments atteignant les milieux récepteurs après mitigation.

Selon la quantité de sédiments qu'il a été convenu de retenir avant que ces derniers n'atteignent les milieux récepteurs, différentes mesures d'atténuation pourront être étudiées en fonction de l'efficacité recherchée, des coûts et des caractéristiques du site du projet. Il existe trois types de mesures d'atténuation:

Les mesures préventives, qui ont comme objectif principal de réduire l'érosion à la source en protégeant les sols contre l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement ainsi que de favoriser la stabilisation rapide des sols du chantier de construction.

Les mesures de dérivation et de contrôle du ruissellement qui visent, par exemple, à dévier le ruissellement vers des zones stabilisées, c'est-à-dire peu ou pas sensibles à l'érosion.

Et finalement, les bassins de sédimentation qui interceptent les sédiments érodés avant leur arrivée dans un lac ou un cours d'eau. Ces bassins constituent en quelque sorte la dernière ligne de défense contre l'invasion des lacs et cours d'eau par les solides en suspension.

Ces mesures sont classées par ordre décroissant d'utilisation privilégiée. En effet, il est reconnu qu'une série de petites mesures de contrôle de l'érosion implantées en temps voulu sont plus efficaces et moins dispendieuses que quelques mesures très élaborées mais installées trop tard. Ceci s'explique par le fait qu'il coûte généralement moins cher de retenir les sédiments à proximité du site d'origine que de les laisser se déplacer et être obligé, par la suite, de les recueillir et d'en disposer.

Une fois les mesures considérées les plus adéquates choisies, l'étape subséquente consiste à calculer la quantité de

sédiments qui seront tout de même érodés et transportés malgré la présence des mesures d'atténuation retenues. Si la quantité de sédiments ainsi estimée est équivalente ou inférieure au volume (en pourcentage) de sédiments considéré comme étant acceptable, la dernière étape consistera alors à dresser la liste des impacts résiduels et veiller à ce qu'un suivi soit instauré pour vérifier les résultats sur le terrain. Par contre, si la quantité de sédiments estimée après mitigation excède de façon importante la norme considérée comme étant acceptable, il conviendra de revoir les mesures déjà retenues et de les modifier en conséquence ou d'envisager la construction d'un ou plusieurs bassins de sédimentation.

ÉTAPE 7: . Construction d'un ou plusieurs bassins de sédimentation.

Détermination des dimensions requises et de sa (ou des) localisation(s).

. Nouvelle estimation de la quantité de sédiments susceptibles d'atteindre les milieux récepteurs.

Comme leur nom l'indique, les bassins de sédimentation sont conçus de façon à favoriser le dépôt de sédiments avant que ceux-ci n'atteignent les milieux récepteurs à protéger. Il s'agit là d'une méthode d'atténuation particulièrement efficace surtout lorsqu'une forte proportion de sédiments est susceptible d'atteindre les cours d'eau en dépit de l'utilisation de mesures de protection des sols et de dérivation du ruissellement. La conception des bassins de sédimentation nécessite généralement l'approbation d'un ingénieur et il peut être préférable, dans certains cas, de procéder à une analyse coûts/avantages avant de retenir cette méthode qui n'a été que peu ou pas utilisée au Québec jusqu'à maintenant.

Finalement, l'estimation de la quantité de sédiments qui seront possiblement retrouvés au sortir du bassin de sédimentation permet d'évaluer son efficacité et de s'assurer de la faible intensité des impacts résiduels.

ÉTAPE 8: . Détermination des impacts résiduels.

La dernière étape consiste à dresser la liste des impacts susceptibles de se produire en dépit des mesures d'atténuation utilisées. Ces impacts, s'il en subsiste, devraient normalement être de faible intensité.

Le tableau 1 présente de façon synthétique les différentes étapes présentées précédemment.

TABLEAU 1 : ÉTAPES DE RÉALISATION D'UNE ÉTUDE SUR L'ÉROSION

ÉTAPE 1	ÉTAPE 2	ÉTAPE 3	ÉTAPE 4	ÉTAPE 5	ÉTAPE 6		ÉTAPE 7	ÉTAPE 8
Comparaison qualitative des sites étudiés. Inventaires Identification des récepteurs-cibles	Évaluation quantitative et comparaison des tracés étudiés. Choix du tracé de moindre impact	Évaluation quantitative des sédiments érodés pour le tracé retenu	Évaluation de la quantité de sédiments transportés dans la zone d'étude	Choix du degré acceptable de perturbation avant l'atténuation	Choix des mesures de mitigation les plus appropriées. Quantité de sédiments(Q) après atténuation	Si Q < Étape 5	Réévaluation des mesures de mitigation retenues. Utilisation de bassins de sédimentation si nécessaire	Détermination des impacts résiduels

Si Q < Étape 5

Étape 7

Détermination des impacts résiduels

En dernier lieu, il est essentiel que le personnel chargé de l'application des mesures d'atténuation préconisées soit bien au fait des problèmes inhérents à l'érosion et comprenne le but poursuivi par l'application de ces mesures. Il convient aussi de s'assurer de l'implantation des mesures recommandées.

Un moyen efficace d'encourager le respect des normes édictées serait d'inclure les mesures de contrôle de l'érosion dans les appels d'offre et de fournir des sessions de formation appropriées aux entrepreneurs ou à certains membres de leur personnel.

Le budget de construction devrait aussi être planifié de façon à ce que le maintien et l'entretien des mesures retenues soient assurés tout au long de la phase de construction et même après lorsque nécessaire.

3

ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION

3 ÉVALUATION QUANTITATIVE DE L'ÉROSION

3. L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL

L'équation universelle de perte de sol, mise au point par Wischmeier et al à la fin des années cinquante sous les auspices du Service de la conservation des sols et du ministère de l'Agriculture des États-Unis, a été conçue à l'origine uniquement en fonction des pertes de sol dues à l'érosion en milieu agricole. Son application se limitait alors aux régions situées à l'est des Rocheuses du côté américain. "Le principe de base de cette équation était de comparer l'érosion d'un site quelconque à l'érosion d'une parcelle témoin ayant une longueur de 22 m et une pente de 5^0 (soit 9 %) maintenue en jachère, c'est-à-dire labourée périodiquement, de manière à ce qu'aucune végétation ne puisse s'y développer et que le sol ne puisse former une croûte superficielle" (Henensal P., 1986). Les paramètres considérés dans cette équation sont les mêmes que ceux identifiés précédemment comme étant les principaux éléments devant être pris en considération dans une étude qualitative sur l'érosion, soit les caractéristiques de la pluie et du sol, la topographie et la couverture végétale.

A ceci s'ajoute dans l'équation originale de Wischmeier, un facteur permettant de quantifier la valeur des différentes pratiques culturales anti-érosion pouvant être utilisées.

Cette équation s'écrit de la façon suivante:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \qquad (1)$$

3.1 L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL MODIFIÉE

La version modifiée de cette même équation pour son utilisation lors de l'évaluation de l'érosion (dans le cas de travaux de génie civil) se lit ainsi:

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot (VM) \qquad (2)$$

La signification des cinq premiers symboles est la même dans les deux équations et est présentée ci-après. Une distinction est cependant faite au niveau des deux derniers symboles.

A = Quantité de sédiments érodés par unité de surface pendant une période de temps déterminée, en tonne/acre.

R = Facteur de pluviosité (moyenne annuelle) ou le nombre d'unités caractérisant l'érosivité des pluies pendant la période de temps considérée.

$$\left(\frac{(X\ 100)\ \text{Pieds} \times \text{Tonne} \times \text{Pouce}}{\text{Acre} \times \text{Heure} \times \text{Année}} \right)$$

K = Indice de la sensibilité d'un sol donné à l'érosion hydrique ou l'érodabilité du sol lorsque placé dans les conditions suivantes: planche de 22 m de long, pente de 9 % labourée périodiquement.

$$\left(\frac{\text{Tonne} \times \text{Acre} \times \text{Heure}}{(X\ 100) \times \text{Acre} \times \text{Pied} \times \text{Pouce} \times \text{Tonne}} \right)$$

L = Facteur de longueur de pente ou rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié avec celle qui aurait lieu si celui-ci avait 22 m de long.

S = Facteur d'inclinaison de pente ou rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié avec celle qui aurait lieu si celui-ci avait une pente de 9 %.

C = Facteur de couverture végétale ou rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié possédant une couverture végétale donnée, avec celle qui aurait lieu si le sol était nu et labouré périodiquement.

P = Facteur de pratique culturale anti-érosion ou rapport de la perte de sol observée sur le terrain étudié, travaillé mécaniquement afin de le protéger contre l'érosion avec celle qui aurait lieu si le terrain était labouré périodiquement dans le sens de la plus grande pente.

Lors de l'adaptation de l'équation de Wischmeier et al pour une utilisation sur les chantiers de construction routière, les facteurs C et P, qui découlent directement du milieu agricole, ont été remplacés par un facteur de contrôle de l'érosion appelé (VM). Contrairement à C et P, (VM) compte pour un seul facteur. Il représente la susceptibilité d'un sol à l'érosion compte tenu de son état (nu, fraîchement retourné, remblai compacté,...) ou de la mesure d'atténuation envisagée (ensemencement, paillis végétal ou autre,...)

Les éléments L et S sont aussi combinés pour ne former qu'un seul facteur dans l'équation modifiée. (LS) demeure toutefois un facteur topographique qui varie selon la longueur et la raideur de la pente.

L'équation de Wischmeier et al ainsi modifiée permet, dans un premier temps de prédire l'érosion hydrique susceptible de se produire sur un site de construction donné. Elle permet aussi de déterminer l'efficacité des différentes mesures de contrôle de l'érosion pouvant être utilisées en fonction du niveau de protection recherché.

3.1.1 LE FACTEUR "R" OU L'ÉROSIVITÉ DE LA PLUIE ET DU RUISSELLEMENT

Le facteur R représente le pouvoir potentiel de la pluie ou du ruissellement de causer de l'érosion pendant une période de temps donnée, généralement une(1) année. La représentation numérique de R utilisée dans l'équation de perte de sol doit donc quantifier l'impact des gouttes de pluie tout en comprenant une certaine information concernant la quantité et le taux de ruissellement possiblement associés à la pluie (Wischmeier, W.H. et D.D. Smith, 1978).

Les résultats d'études effectuées par Wischmeier (1959) ont démontré que lorsque tous les autres facteurs sont maintenus constants, les pertes de sol sur terrains cultivés sont directement proportionnelles à un paramètre identifié comme étant EI ou l'indice d'érosivité. Pour arriver à ce résultat, Wischmeier et al ont corrélé plus de 40 facteurs climatiques ou météorologiques (hauteur de précipitation, différentes intensités caractéristiques, les conditions précédentes de précipitation ou d'humidité,...) et leur interrelation avec l'érosion sur des parcelles standard nues et cultivées dans le sens de la pente (Lagacé R. et al 1980). C'est le produit de l'énergie de la pluie (E) et de son intensité maximale sur une période de 30 minutes (I_{30}) qui a permis d'atteindre la plus grande corrélation, soit 90 %.

R peut donc être défini comme étant le nombre d'unités de l'indice d'érosivité (EI_{30}) pour une année normale de précipitation, l'indice d'érosivité étant la mesure de la force érosive d'un orage donné. Les données obtenues pour chaque orage doivent donc être additionnées pour donner la valeur de R sur une année.

La valeur moyenne annuelle de R a été calculée pour chacune des régions des États-Unis en se basant sur des données pluviométriques enregistrées sur une période de 22 ans, et cartographiée à l'échelle du pays.

Au Québec, le Département de génie rural de l'Université Laval a réussi à définir, par une méthode approximative, un indice d'érosivité pour les différentes régions du Québec. Une carte (voir figure 1) a d'ailleurs été publiée à cet effet en 1980

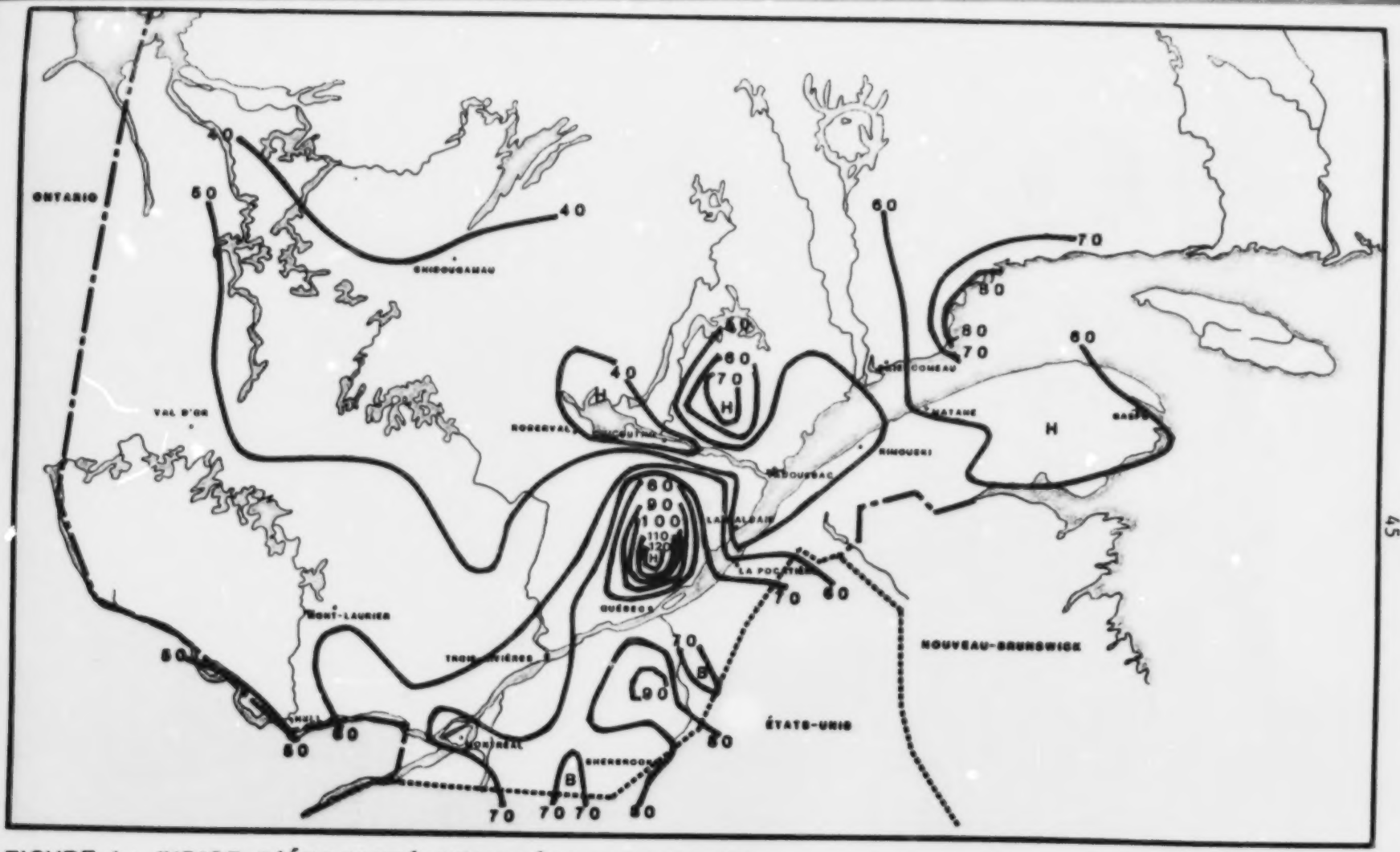


FIGURE 1 : INDICE D'ÉROSIVITÉ DES PRÉCIPITATIONS (R)

$$R = P_{\text{Totales}} \times P_{\text{24h-2ans}} \times P_{\text{1h-2ans}}$$

Source des données: Ministère des richesses naturelles du Québec
Robert Lagacé 1978

lors du 8e colloque de génie rural. Cette carte utilise les données de précipitations totales annuelles en supposant que la fraction nivale fournit une contribution équivalente à celle de la pluie. Les valeurs de l'indice d'érosivité obtenues à partir de cette carte ne doivent toutefois être utilisées qu'avec réserve tant qu'aucune étude n'aura été expressément entreprise pour déterminer avec certitude les données correspondantes pour le Québec.

Toutefois, les valeurs annuelles moyennes de R ne peuvent toujours être directement utilisées dans le cas de construction routière car les périodes de temps critiques pour la production de sédiments peuvent alors s'échelonner sur moins d'une année (Transportation Research Board, 1980). Il est alors préférable d'utiliser des valeurs de EI_{30} correspondant à une saison, un mois ou même un orage particulier. En fait, R peut être évalué pendant tout intervalle de temps désiré, selon les besoins d'une étude donnée. Il peut également servir à déterminer les dimensions du bassin de sédimentation à construire, si tel est le cas.

3.1.1.1 DÉTERMINATION DE "R" MENSUEL

La détermination de R pour un mois particulier se fait par le biais de l'abaque du nord-est des États-Unis de la figure 2, qui présente le cumul des EI_{30} sur les douze mois de l'année, conjointement avec les indices d'érosivité des précipitations de la figure 1.

Le tableau 2 présente la distribution mensuelle de l'indice d'érosivité du facteur R à Montréal.

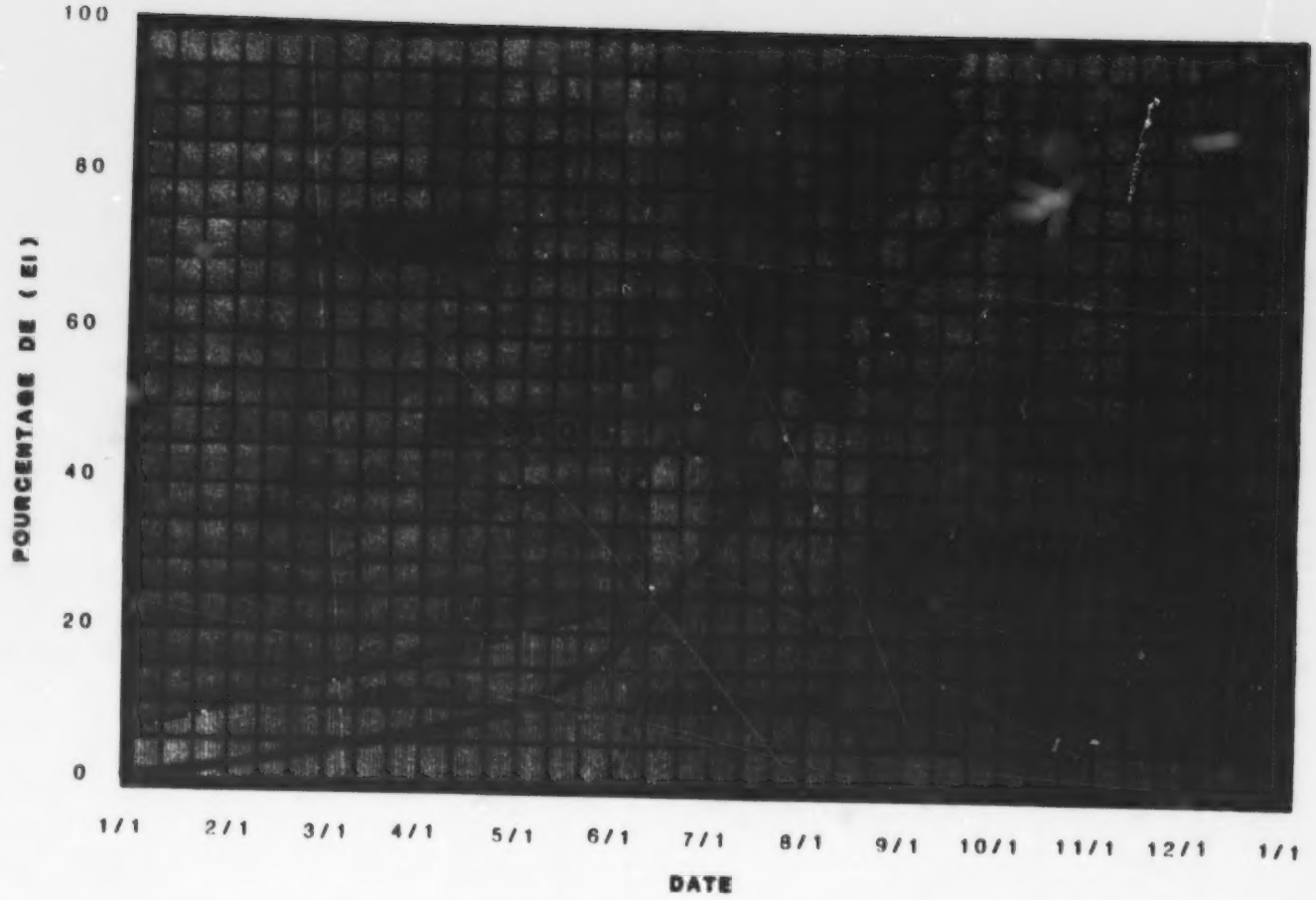


FIGURE 2 : COURBE DE DISTRIBUTION MENSUELLE DE L'INDICE D'ÉROSIVITÉ (EI)

TABLEAU 2: RÉPARTITION ABSOLUE ET RELATIVE DE L'INDICE EI_{30} POUR CHAQUE MOIS DE L'ANNÉE A MONTRÉAL ET LE FACTEUR R ANNUEL CORRESPONDANT

MOIS	VALEUR EN EI_{30}	
	RELATIVE (%)	ABSOLUE
Janvier	2,0	1,4
Févier	2,0	1,4
Mars	2,0	1,4
Avril	3,5	2,45
Mai	7,5	5,25
Juin	14,0	9,8
Juillet	19,5	13,65
Août	17,5	12,25
Septembre	12,0	8,40
Octobre	9,0	6,30
Novembre	6,5	4,55
Décembre	4,5	3,15
FACTEUR R	100,00	70,0

Bien que cette méthode donne des résultats relativement satisfaisants, il conviendrait néanmoins que soit entreprise une étude permettant d'estimer avec plus de précision la distribution mensuelle de R pour le Québec.

3.1.1.2 ÉVALUATION DE "R" POUR UN ORAGE DÉTERMINÉ

Afin de bien illustrer la procédure à suivre pour déterminer le facteur R lors d'un orage donné, une pluie de 24 heures d'une période de récurrence de 2 ans sera utilisée à titre d'exemple.

La valeur du facteur d'érosivité pour un orage donné est égale à l'énergie cinétique totale (E) dudit orage sur 24 heures, multipliée par la valeur des 30 minutes d'intensité maximale, (I_{30}) divisée par 100, soit:

$$R = \frac{[(E)\ I_{30}]}{100} \qquad (3)$$

Détermination de l'énergie cinétique totale (E) et de l'intensité (I) de la pluie

L'énergie cinétique d'une pluie est estimée par le biais de l'équation suivante:

$$E = 916 + 331 \log_{10} I \qquad (4)$$

Où I = Intensité de la pluie en pouce(s)/heure

E = Énergie cinétique de la pluie en pied-tonne/acre-pouce

L'intensité de la pluie est déterminée, quant à elle, à partir des données tirées de "l'Atlas de la fréquence des pluies du Canada" (1985) et du graphique de la figure 3. Ce dernier permet d'évaluer l'intensité de la pluie pour chacun des intervalles retenus à l'intérieur de la période de 24 heures. Dans le cas présent, la période de 24 heures a été décomposée en six sous-périodes de 0.5, 1, 2, 3, 6 et 12 heures. Les données relatives à l'exemple présenté sont regroupées dans le tableau 3.

Comme déjà spécifié, la période de 24 heures d'un orage a été décomposée en six sous-périodes. Ces dernières composent la première colonne du tableau 3. Les données de la deuxième colonne, qui correspondent aux hauteurs de pluie totales pour chacune des six périodes, ont été évaluées par le biais de la figure 3 en calculant la différence existant entre chaque intervalle de temps. La troisième colonne présente la pluie tombée durant un intervalle donné qui correspond, en fait, à la différence entre des totaux de pluie successifs. La quatrième colonne fournit la longueur de l'intervalle de temps en heures tandis que la cinquième présente l'intensité de la pluie en pouces par heure. Cette dernière série de données

est obtenue en divisant les valeurs de la troisième colonne par celles de la quatrième colonne. Les unités retrouvées dans la dernière colonne correspondent à l'énergie totale et ont été calculées avec l'équation 4.

TABLEAU 3: EXEMPLE DE CALCUL DE L'ÉNERGIE CINÉTIQUE (E) POUR UNE PLUIE DE 24 HEURES ET D'UNE PÉRIODE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS POUR LA RÉGION DE MONTRÉAL

Durée (Heures)	Hauteur de pluie totale (po)	Hauteur de pluie par intervalle (po)	Intervalle entre périodes (heures)	Intensité de la pluie (po/h)	Indice d'énergie (pied-tonne/acre-po
0	0				
		0.59	0,5	1,18	554
0,5	0,59				
		0,19	0,5	0,38	148
1,0	0,78				
		0,16	1,0	0,16	104
2,0	0,94				
		0,12	1,0	0,12	73
3,0	1,06				
		0,06	3,0	0,02	21
6,0	1,12				
		0.29	6,0	0,04	131
12,0	1,41				
		0,47	12,0	0,04	213
24,0	1,88				
				TOTAL:	1 244

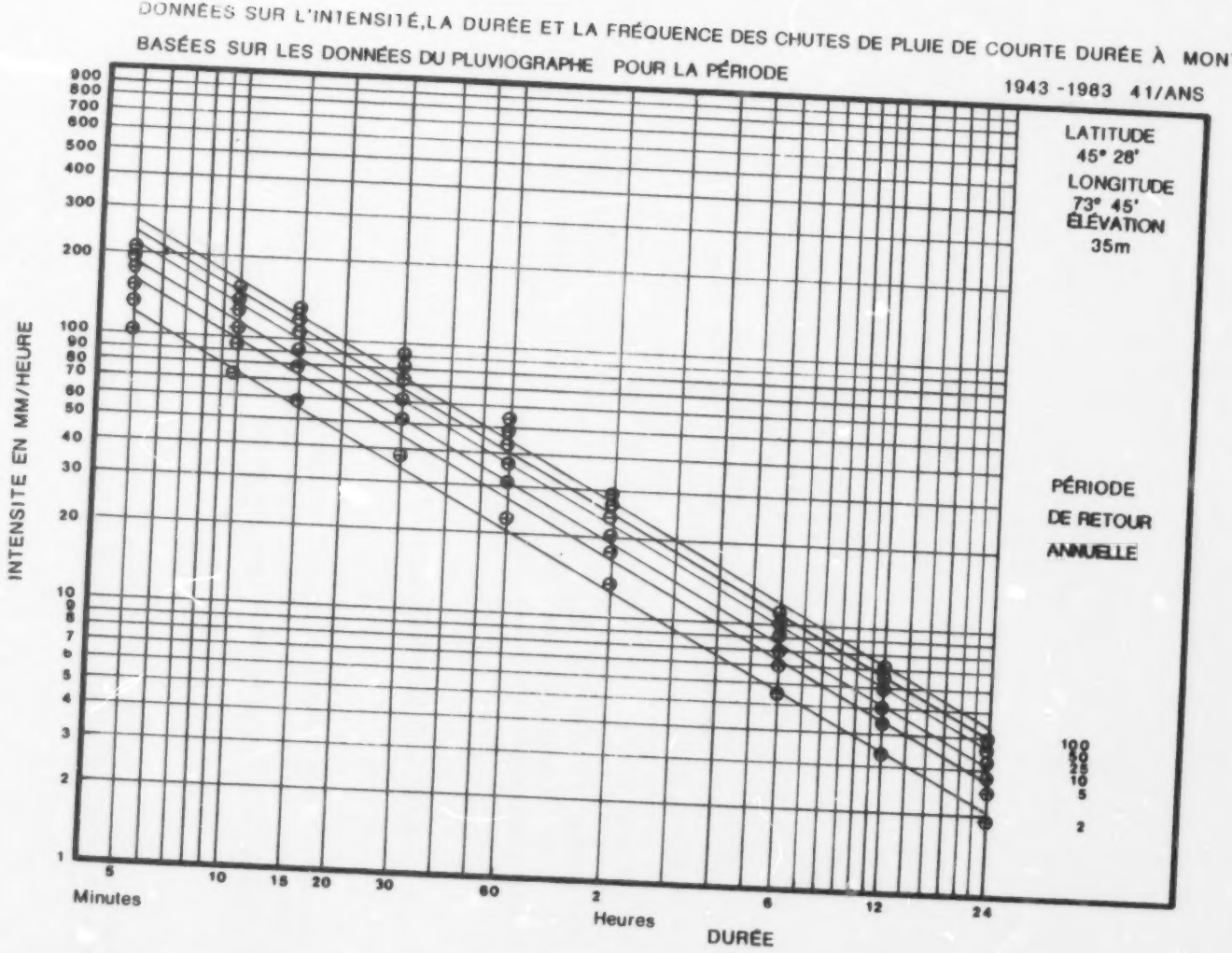


FIGURE 3: DONNÉES SUR L'INTENSITÉ, LA DURÉE ET LA FRÉQUENCE DES CHUTES DE PLUIE DE COURTE DURÉE.

Source: Environnement Canada service de l'Environnement atmosphérique

Le facteur R pour l'exemple présenté est donc égal à (voir équation 3):

$$R = \frac{[(\ E)\ I_{30}]}{100}$$

$$R = \frac{(1244)\ 1.18}{100}$$

$$R = 15$$

Cette valeur de R vaut pour la plus importante averse d'une durée de 24 heures, susceptible de se produire en moyenne tous les 2 ans.

Les données des variations des valeurs de EI pour les différents intervalles de récurrence calculées par Wischmeier et Smith ont été utilisées pour l'élaboration du diagramme de récurrence de la figure 4, qui présente la relation existant entre la valeur annuelle de EI avec une période de retour de 2 ans et celles d'autres périodes de retour (Transportation Research Board, 1980).

Il existe une forte corrélation entre R (la valeur annuelle moyenne) et EI (récurrence de 50 ans) avec un coefficient de détermination r^2 égal à 0,96 selon Israelsen, C.G. et al (1980). La figure 4 permet de déterminer toute récurrence recherchée avec une précision satisfaisante.

3.1.1.3 VALEURS DE "R" POUR LES EAUX DE FONTE DES NEIGES

Le facteur "R" ne comprend pas les pertes de sol liées aux eaux de fonte des neiges*. Cet agent d'érosion occasionne toutefois des pertes de sol appréciables au Québec de même que les pluies

---

* (à l'exception de la figure 1 produite par l'Université Laval pour les principales régions du Québec).

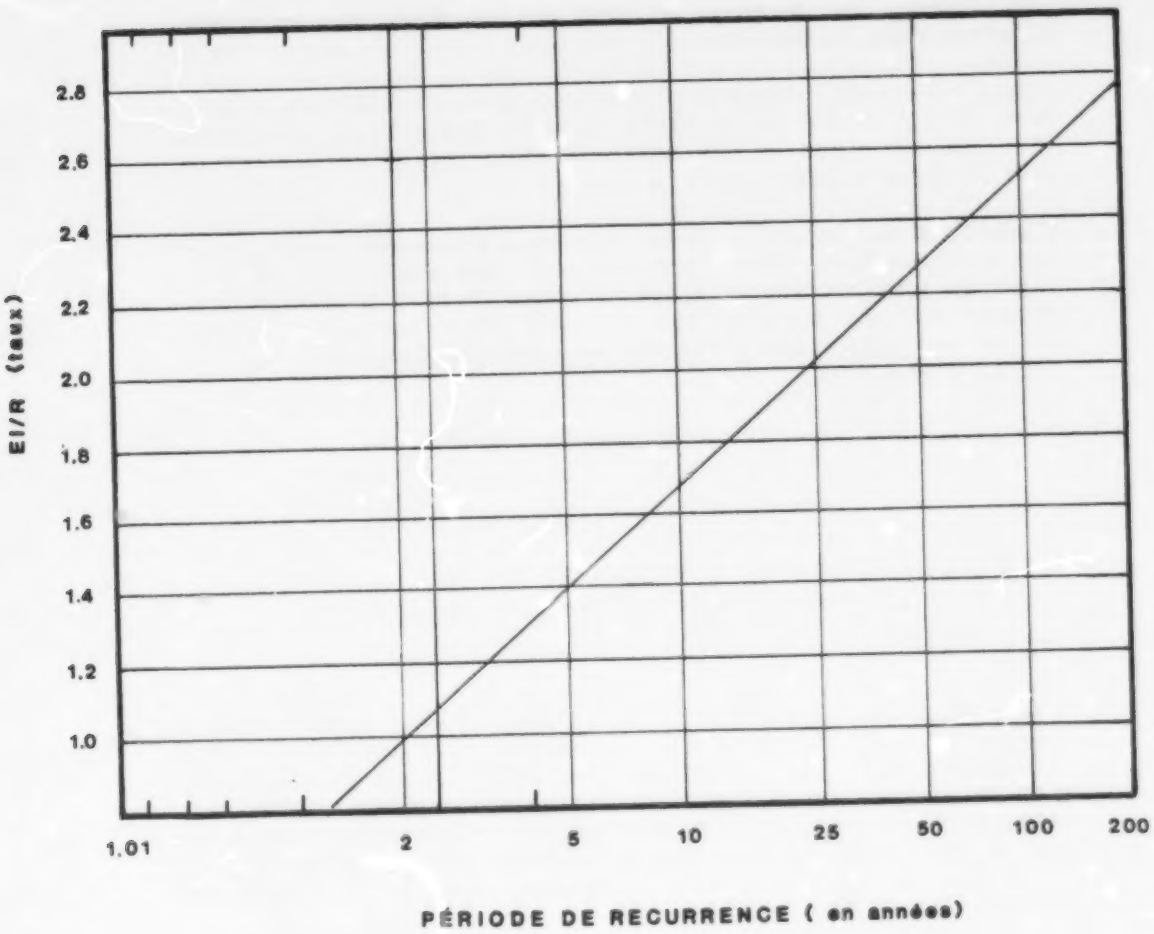


FIGURE 4 : RELATION ENTRE EI/R ET LA PÉRIODE DE RÉCURRENCE

NOTE : Il faut multiplier "R" par le taux correspondant à la période recherchée pour déterminer la valeur de EI pour une autre période de récurrence.

de faible intensité, mais de longue durée, alors que le sol est saturé. Ces facteurs ne sont pas non plus pris en considération dans l'équation.

Lagacé R. (1980) suggère d'utiliser une contribution nivale semblable à celle de la pluie pour le Québec, en spécifiant bien que ce n'est qu'une approximation, et qu'une recherche devrait être entreprise en ce sens.

Wischmeier W.H. et D.D. Smith recommandent quant à eux, pour les états du nord-ouest et du nord-est des États-Unis, d'utiliser un sous-facteur de R avec l'index local d'érosivité pour obtenir R. Ce sous-facteur pourrait être évalué en multipliant par 1.5 la précipitation observée de décembre à mars en pouces d'eau.

3.1.2 LE FACTEUR K OU L'ÉRODABILITE DES SOLS

Le facteur K est la représentation numérique de la capacité d'un sol à résister à l'action érosive de la pluie. Il varie selon certaines propriétés physiques et chimiques du sol telles sa granulométrie, sa stabilité structurale, sa porosité, sa teneur en matière organique et sa capacité d'agrégation (Lagacé, R., 1980).

Tel que déjà spécifié dans la définition de K au début du présent chapitre, ce facteur est évalué, "pour une unité donnée d'érosivité de la pluie, selon les pertes de sols susceptibles de se produire sur une parcelle standard de 22 m de longueur, avec une pente de 9 % labourée suivant le sens de la pente et maintenue en jachère". Les conditions de précipitations pour l'évaluation peuvent être naturelles ou artificielles.

Cette méthode d'évaluation, qui requiert l'utilisation de parcelles témoins, est toutefois dispendieuse et peu rapide. Il est possible de la remplacer par l'utilisation d'un nomogramme mis au point par Wischmeier et al (1971), et permettant de relier K à certaines propriétés du sol qui sont:

- le pourcentage de limon et de sable très fin (0,1 mm),
- le pourcentage de sable (0,1 mm - 2 mm),
- la structure du sol,
- sa perméabilité,
- et le pourcentage de matière organique.

La valeur de K obtenue par le biais du nomogramme de Wischmeier (voir figure 5) varie toujours entre 0,1 et 0,7, une valeur élevée représentant un sol sensible. La précision inhérente à cette méthode, soit + 0.02 t/ha, est considérée comme étant acceptable. Le nomogramme résultant a d'ailleurs été établi suite à l'analyse des résultats obtenus sur de nombreuses parcelles de mesure.

UTILISATION DE L'ABAQUE DE WISCHMEIER

Pour utiliser cet abaque, il suffit, une fois en possession des valeurs des cinq paramètres précédents, de les positionner de façon adéquate sur les graphiques et de tirer des lignes

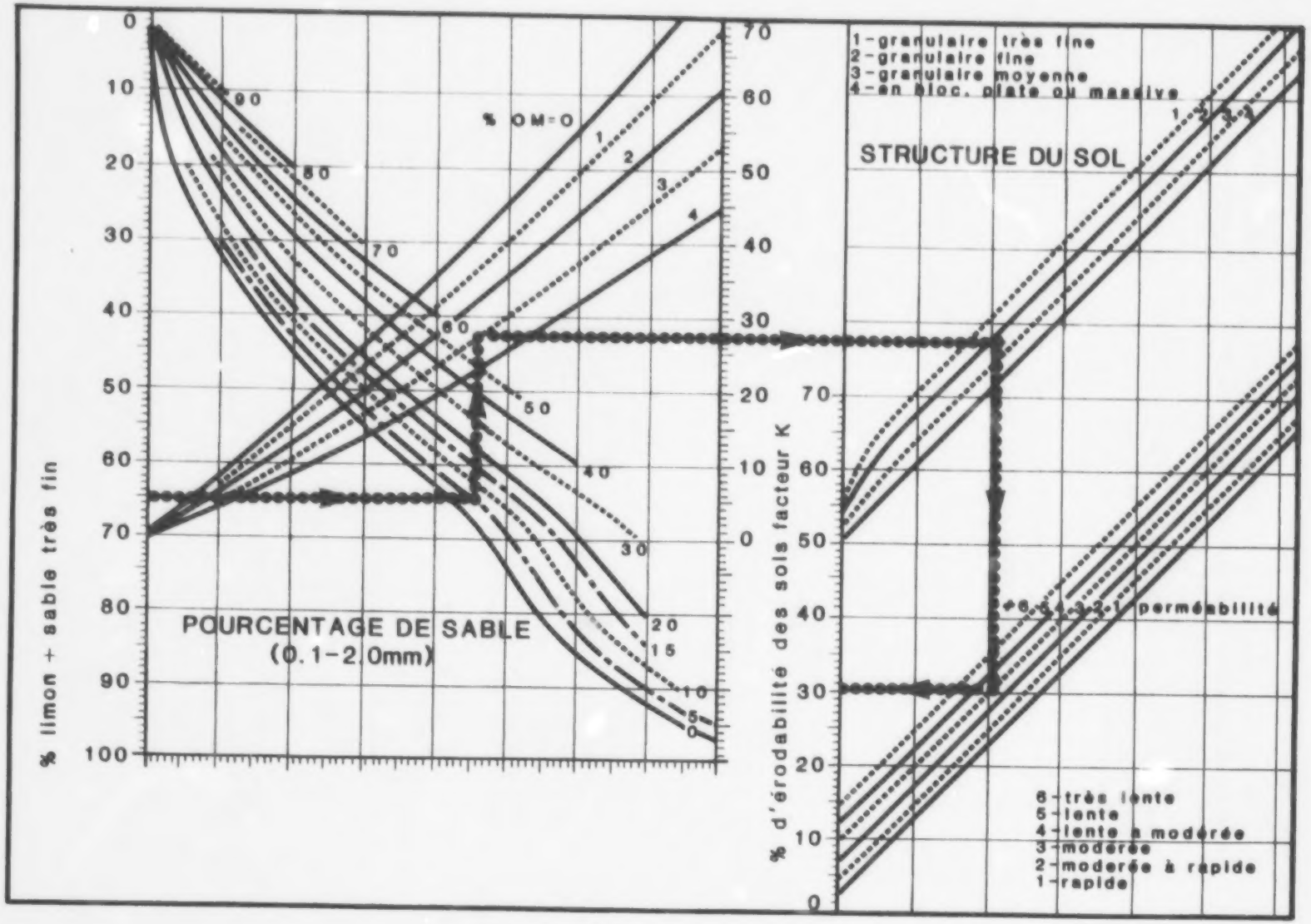


FIGURE 5 : ABAQUE POUR DÉTERMINER L'INDICE D'ÉRODABILITÉ DES SOLS (K)
(ADOPTÉ DE WISCHMEIER ET AL., 1971)

entre les valeurs selon un ordre déterminé. Ainsi, il convient, dans un premier temps, d'inscrire la valeur correspondant au pourcentage de limon et de sable très fin sur l'ordonnée, à gauche du premier graphique. Une ligne est ensuite tirée jusqu'à la valeur du pourcentage de sable, puis jusqu'à celle correspondant au pourcentage de matières organiques. L'échelle de droite donne une première approximation de K comme suite à la mise en relation de ces trois facteurs. La structure du sol est ensuite intégrée par le biais du deuxième graphique, de même que la perméabilité. La valeur finale de K se retrouve en dernière étape sur l'ordonnée de ce même graphique.

Le nomogramme tel que présenté est surtout valable pour les États-Unis et sa validité au Québec devrait parfois, dépendamment des types de sols en présence, être vérifiée sur quelques parcelles expérimentales.

3.1.3 LE FACTEUR TOPOGRAPHIQUE LS

Ce facteur est la représentation numérique de la combinaison longueur - inclinaison de pente devant être utilisée avec les facteurs R et K afin d'obtenir le taux potentiel d'érosion pour une pente donnée.

LS, de concert avec VM qui sera présenté à la section suivante, constituent les seuls éléments de l'équation universelle de perte de sol sur lesquels l'homme peut exercer une certaine influence. Ce dernier, en effet, n'a aucun contrôle sur les deux paramètres présentés précédemment, soit l'érosivité de la pluie (R) et l'érodabilité des sols (K). Par contre, c'est lui qui définit la longueur et la raideur des pentes qu'on retrouvera sur les projets routiers en fonction du site et de certaines caractéristiques techniques et qui influenceront la valeur de LS.

LS peut être déterminé rapidement à l'aide d'un abaque mis au point par Wischmeier et Smith et présenté à la figure 6. Roose (1977) recommande toutefois beaucoup de prudence concernant l'utilisation de cet abaque car "le ruissellement et l'érosion évoluent de façon très différente dépendamment du

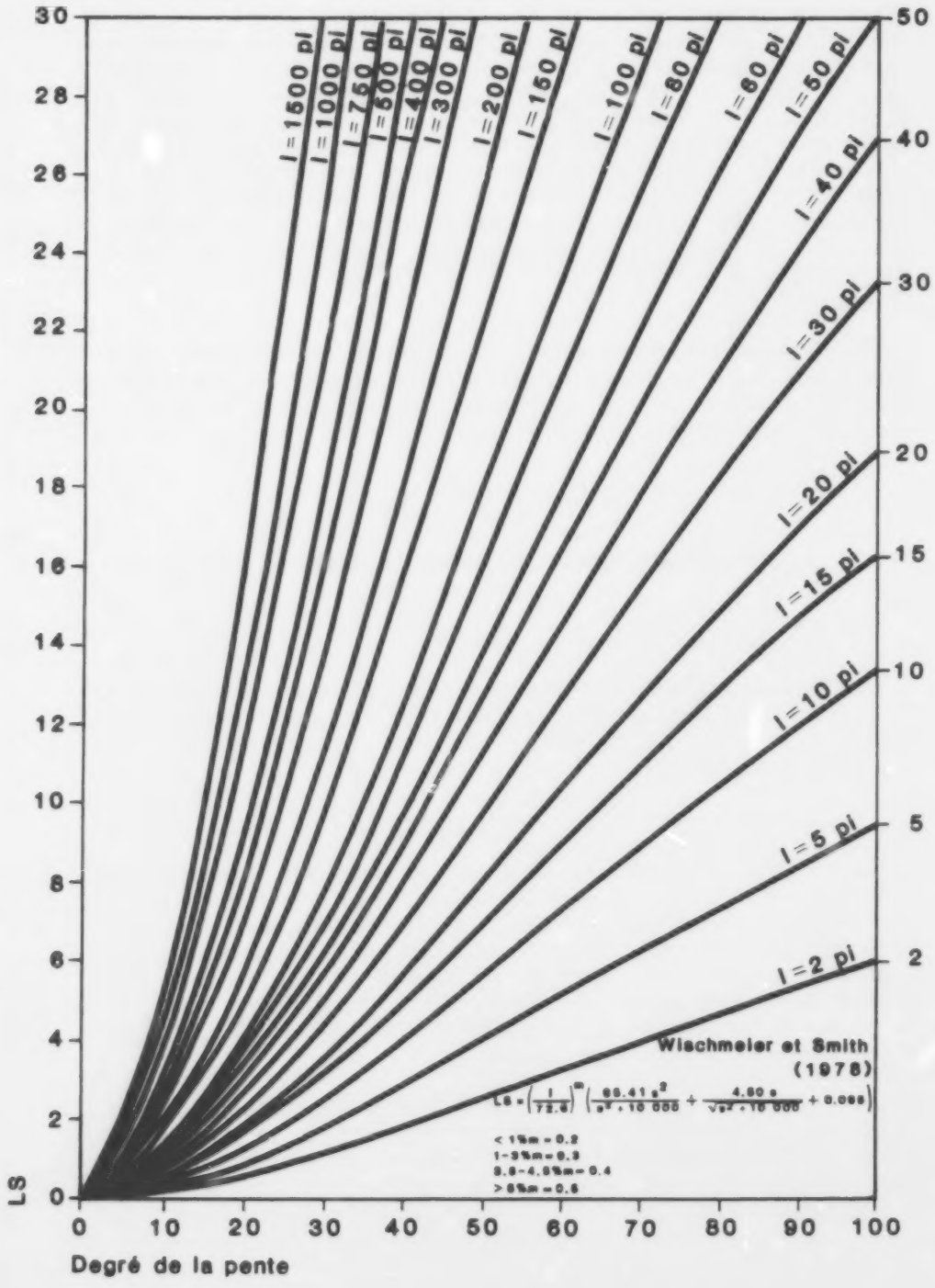


FIGURE 6: ABAQUE POUR DÉTERMINER LS

type de sol (sableux, argileux,...)". Il admet cependant que faute de progrès significatif dans les recherches expérimentales sur le terrain à l'aide de simulateurs de pluie, son utilisation peut être utile à titre estimatif tout au moins.

Pour utiliser cet abaque (pente simple), il s'agit de placer la valeur correspondant à l'inclinaison de la pente sur l'abscisse du graphique. Une droite verticale imaginaire est ensuite élevée jusqu'à la courbe représentant la valeur de la longueur de la pente. LS correspond alors à la valeur trouvée en vis-à-vis sur l'ordonnée du graphique.

3.1.3.1 RÉPONSE DE LS A DES CHANGEMENTS DE LONGUEUR ET D'INCLINAISON D'UNE PENTE

L'exemple suivant, présenté par Israelsen et al (1980), permet de démontrer comment des modifications au niveau de la longueur et de la raideur de la pente d'un talus autoroutier permettent de réduire l'érosion pouvant être anticipée sur un site de projet. Ainsi, en ce qui a trait au facteur S (raideur) tout particulièrement, en supposant que l'on ait prévu un talus de remblai de 30,5 mètres de longueur avec une pente de 1,5:1 ou 67 %, la valeur de LS telle que lue sur l'abaque de la figure 6 sera de 26,68. Le fait de réduire la pente du talus de 67 à 50 % (2:1) augmente la longueur du talus de 24,5 % et LS est alors égal à 19,9. Le taux de l'érosion potentielle est alors réduit à 74 % de la valeur originale, si bien que l'érosion totale atteint une valeur égale à 124.5 x 74.55 = 92,82 % de la valeur originale. Une nouvelle réduction de la pente 3:1 (33 %) amène LS à une valeur de 12:33 ce qui équivaut à 47 % de la valeur originale évaluée précédemment. Une pente de 6:1 réduirait LS à 5,60 ou près de 21 % de la valeur du premier design ce qui correspond à 71,1 % de la valeur originale anticipée mais la longueur totale du talus serait alors de 103 mètres (339 pieds). (Voir la figure 7 et le tableau 4 tiré de Israelsen et al. 1980).

FIGURE 7: RELATION EXISTANT ENTRE LA PENTE D'UN TALUS ET L'ÉROSION

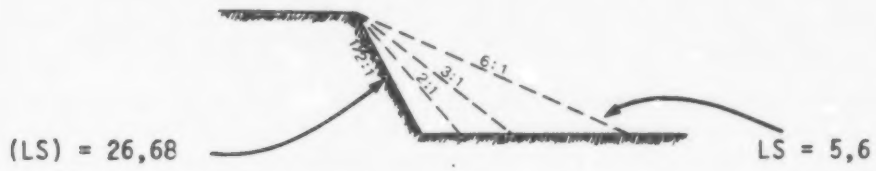


TABLEAU 4: RELATION ENTRE LA PENTE D'UN TALUS ET L'ÉROSION

INCLINAISON DU TALUS	LONGUEUR DE TALUS	LS	LS % VALEUR ORIGINALE	ÉROSION % VALEUR ORIGINALE
1½:1	100	26,68	100	100
2:1	124,5	19,89	74,55	92,82
3:1	176	12,33	46,21	81,34
6:1	339	5,60	20,99	71,1

La réponse du facteur LS à des changements, dans la longueur de la pente d'un talus cette fois, est bien illustrée par l'exemple suivant où la longueur totale (L) d'une pente de talus donné est de 1000 pieds (304 mètres) et son inclinaison de 40 % (2,5:1).

LS est alors égal à 40,01. Le fait de segmenter la pente du talus en deux ou plusieurs segments à l'aide, par exemple, de rigoles d'interception (interceptor ditches) permet de diminuer l'érosion de plus de la moitié de la valeur prévue, comme l'indique le croquis suivant:

FIGURE 8: RELATION EXISTANT ENTRE LA LONGUEUR(L) D'UN TALUS ET L'ÉROSION

LS = 40.01 LS = 28,29 LS = 17,89

Ainsi, couper la longueur d'une pente en deux diminue l'érosion pour chacune des moitiés de près de 1/6 tandis que pour la pente totale, l'érosion diminue du tiers de la valeur totale évaluée. (Israelsen, C.E. et al, 1980).

TABLEAU 5: RELATION ENTRE LA LONGUEUR D'UN TALUS ET L'ÉROSION

NOMBRE DE SEGMENTS	LS POUR CHAQUE SEGMENT
1 de 1000 pi	40,01
2 de 500 pi	28,29
3 de 333 pi	23,07
4 de 250 pi	20,02
4 de 200 pi	17,89

Il est cependant important de noter que l'érosion potentielle ou la valeur de R x K x LS doit être multiplié par une superficie afin de déterminer la quantité totale d'érosion. La valeur de LS diminue avec la longueur au même titre que la quantité totale d'érosion et peut donc être utilisée pour indiquer l'efficacité de la réduction de longueur (Israelsen et al 1980).

Il existe aussi une formule permettant d'évaluer la valeur de LS pour une pente simple. Cette formule se lit comme suit:

$$LS = \frac{l}{72,6)}^{m} \frac{65.41 \times s^2}{s^2 + 10\,000} + \frac{4,56\ s}{s^2 + 10\,000} + 0,065 \qquad (5)$$

Où LS = Facteur topographique
l = Longueur de la pente en pied(s)
s = Degré d'inclinaison de la pente en %
m = Exposant variant selon l'inclinaison de la pente ainsi:

m = 0,2 pour des pentes de 0 à 1 %
= 0,3 pour des pentes de 1 à 3 %
= 0,4 pour des pentes de 3,5 à 4,5 %
= 0,5 pour des pentes plus grandes que 5 %

le tableau 6 permet de visualiser rapidement les valeurs de LS telles que calculées par le biais de l'équation précédente.

Comme déjà spécifié, la formule et le tableau précédents réfèrent à des pentes simples. Dans le cas de versants caractérisés par plusieurs ruptures de pentes, il est préférable d'utiliser la formule suivante, où la pente est divisée en plusieurs segments ou tronçons.

$$LS = \frac{\begin{array}{l}[(L_1 S_{s1})\ 1 - (L_0 S_{s1})\ 0 \\ + (L_2 S_{s2})\ 2 - (L_1 S_{s2})\ 1] \\ + [(L_3 S_{s3})\ 3 - (L_2 S_{s3})\ 2] \\ \ldots\ [(L_n S_{sn})\ n - (L_n S_{sn})\ n-1]\end{array}}{(l_1 + l_2 + l_3 \ldots l_n)} \qquad (6)$$

Où L = Facteur de longueur pour un segment de pente n $(ln/72,6)^m$

ln = Longueur du segment de pente n

m = 0,2 pour une pente de 0 à 1 %
0,3 pour une pente de 1 à 3 %
0,4 pour une pente de 3,5 à 4,5 %
0,5 pour toutes pentes de plus de 5 %

sn = Facteur de pente pour un segment de pente n

$$= \frac{65,42s^2}{s^2n + 10\,000} + \frac{4,56\ s_n}{s^3n + 10\,000} + 0,065$$

s_n = Gradient de pente en pourcentage du segment n

n = La somme des longueurs des segments de pente du sommet de la pente jusqu'au bas du segment de pente n

Pour illustrer la procédure à suivre pour le calcul de LS dans les cas de pentes multiples, Israelsen et al (1980) présentent

l'exemple d'une pente convexe telle que représentée à la figure 9.

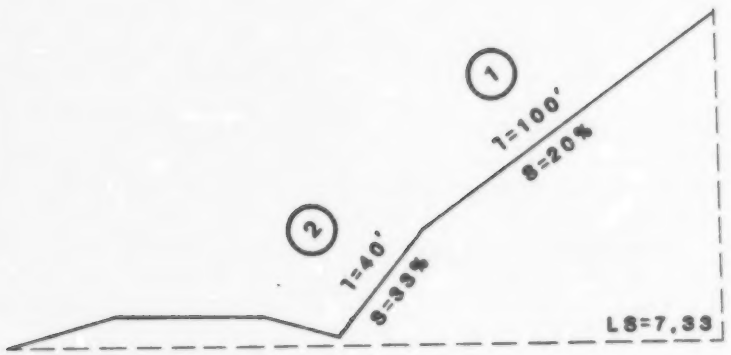


FIGURE 9: COUPE EN TRAVERS D'UNE ROUTE

Le segment supérieur mesure 100 pieds et a une pente de 5:1 (20 %) tandis que le second mesure 40 pieds et a une pente de 33 %. Les données en présence sont donc:

s_1 = 20 % l_1 = 100 pieds $_1$ = 100 pieds

s_2 = 33 % l_2 = 40 pieds $_2$ = 140 pieds

L'étape subséquente consiste à utiliser le tableau 6 et les valeurs de s, l et . En dernier lieu, il s'agit d'entrer les valeurs appropriées dans l'équation 6 comme suit:

$$LS = \frac{[(4,08)\ 100 - 0] + [(11,16)\ 140 - (9,43)\ 100]}{100 + 40} \quad (6)$$

$$= \frac{([408 - 0] + [156,2 - 943])}{140} = 7,33$$

La valeur de LS est donc égale à 7,33

TABLEAU 6: VALEURS DE LS *

Rapport de pente	Raideur de la pente "s" %	Longueur de la pente "l" en pieds. (λ = Somme des segments "l")																						
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800	900	1000
	0.5	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15
100:1	1	0.08	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.14	0.14	0.15	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.18	0.18	0.19	0.19	0.20
	2	0.10	0.12	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.19	0.20	0.23	0.25	0.26	0.28	0.29	0.30	0.32	0.33	0.34	0.36	0.37	0.39	0.40
	3	0.14	0.18	0.20	0.22	0.23	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.32	0.35	0.38	0.40	0.42	0.43	0.45	0.46	0.49	0.51	0.54	0.55	0.57
	4	0.16	0.21	0.25	0.28	0.30	0.33	0.35	0.37	0.38	0.40	0.47	0.53	0.58	0.62	0.66	0.70	0.73	0.76	0.82	0.87	0.92	0.96	1.00
20:1	5	0.17	0.24	0.29	0.34	0.38	0.41	0.45	0.48	0.51	0.58	0.66	0.76	0.85	0.93	1.00	1.07	1.13	1.20	1.31	1.42	1.51	1.60	1.69
	6	0.21	0.30	0.37	0.43	0.48	0.52	0.56	0.60	0.64	0.67	0.82	0.95	1.06	1.16	1.26	1.34	1.43	1.50	1.65	1.78	1.90	2.02	2.13
	7	0.26	0.37	0.45	0.52	0.58	0.64	0.69	0.74	0.78	0.82	1.01	1.17	1.30	1.43	1.54	1.65	1.75	1.84	2.02	2.18	2.33	2.47	2.61
12½:1	8	0.31	0.44	0.54	0.63	0.70	0.77	0.83	0.89	0.94	0.99	1.21	1.40	1.57	1.72	1.85	1.98	2.10	2.22	2.43	2.62	2.80	2.97	3.13
	9	0.37	0.52	0.64	0.74	0.83	0.91	0.98	1.05	1.11	1.17	1.44	1.66	1.85	2.03	2.19	2.35	2.49	2.62	2.87	3.10	3.32	3.52	3.71
10:1	10	0.43	0.61	0.75	0.87	0.97	1.06	1.15	1.22	1.30	1.37	1.68	1.94	2.16	2.37	2.56	2.74	2.90	3.06	3.35	3.62	3.87	4.11	4.33
	11	0.50	0.71	0.86	1.00	1.12	1.22	1.32	1.41	1.50	1.58	1.93	2.23	2.50	2.74	2.95	3.16	3.35	3.53	3.87	4.18	4.47	4.74	4.99
8:1	12.5	0.61	0.86	1.05	1.22	1.36	1.49	1.61	1.72	1.82	1.92	2.35	2.72	3.04	3.33	3.59	3.84	4.08	4.30	4.71	5.08	5.43	5.76	6.08
	15	0.81	1.14	1.40	1.62	1.81	1.98	2.14	2.29	2.43	2.56	3.13	3.62	4.05	4.43	4.79	5.12	5.43	5.72	6.27	6.77	7.24	7.68	8.09
6:1	16.7	0.96	1.36	1.67	1.92	2.15	2.36	2.54	2.72	2.88	3.04	3.72	4.30	4.81	5.27	5.69	6.08	6.45	6.80	7.45	8.04	8.60	9.12	9.62
5:1	20	1.29	1.82	2.23	2.58	2.88	3.16	3.41	3.65	3.87	4.08	5.00	5.77	6.45	7.06	7.63	8.16	8.65	9.12	9.99	10.79	11.54	12.24	12.90
4½:1	22	1.51	2.13	2.61	3.02	3.37	3.69	3.99	4.27	4.53	4.77	5.84	6.75	7.54	8.26	8.92	9.54	10.12	10.67	11.68	12.62	13.49	14.31	15.08
4:1	25	1.86	2.63	3.23	3.73	4.16	4.56	4.93	5.27	5.59	5.89	7.21	8.33	9.31	10.20	11.02	11.78	12.49	13.17	14.43	15.58	16.66	17.67	18.63
	30	2.51	3.56	4.36	5.03	5.62	6.16	6.65	7.11	7.54	7.95	9.74	11.25	12.57	13.77	14.88	15.91	16.87	17.78	19.48	21.04	22.49	23.86	25.15
3:1	33.3	2.98	4.22	5.17	5.96	6.67	7.30	7.89	8.43	8.95	9.43	11.55	13.34	14.91	16.33	17.64	18.86	20.00	21.09	23.10	24.95	26.67	28.29	29.82
	35	3.23	4.57	5.60	6.46	7.23	7.92	8.55	9.14	9.70	10.22	12.52	14.46	16.16	17.70	19.12	20.44	21.68	22.86	25.04	27.04	28.91	30.67	32.32
2½:1	40	4.00	5.66	6.93	8.00	8.95	9.80	10.59	11.32	12.00	12.65	15.50	17.89	20.01	21.91	23.67	25.30	26.84	28.29	30.99	33.48	35.79	37.96	40.01
	45	4.81	6.80	8.33	9.61	10.75	11.77	12.72	13.60	14.42	15.20	18.62	21.50	24.03	26.33	28.44	30.40	32.24	33.99	37.23	40.22	42.99	45.60	48.07
2:1	50	5.64	7.97	9.76	11.27	12.60	13.81	14.91	15.94	16.91	17.82	21.83	25.21	28.18	30.87	33.34	35.65	37.81	39.85	43.66	47.16	50.41	53.47	56.36
	55	6.48	9.16	11.22	12.96	14.48	15.87	17.14	18.32	19.43	20.48	25.09	28.97	32.39	35.48	38.32	40.97	43.45	45.80	50.18	54.20	57.94	61.45	64.78
1¾:1	57	6.82	9.64	11.80	13.63	15.24	16.69	18.03	19.28	20.45	21.55	26.40	30.48	34.08	37.33	40.32	43.10	45.72	48.19	52.79	57.02	60.96	64.66	68.15
	60	7.32	10.35	12.68	14.64	16.37	17.93	19.37	20.71	21.96	23.15	28.35	32.74	36.60	40.10	43.31	46.30	49.11	51.77	56.71	61.25	65.48	69.45	73.21
1½:1	66.7	8.44	11.93	14.61	16.88	18.87	20.67	22.32	23.87	25.31	26.68	32.68	37.74	42.19	46.22	49.92	53.37	56.60	59.66	65.36	70.60	75.47	80.05	84.38
	70	8.98	12.70	15.55	17.96	20.08	21.99	23.75	25.39	26.93	28.39	34.77	40.15	44.89	49.17	53.11	56.78	60.23	63.48	69.54	75.12	80.30	85.17	89.78
	75	9.78	13.83	16.94	19.56	21.87	23.95	25.87	27.66	29.34	30.92	37.87	43.73	48.89	53.56	57.85	61.85	65.60	69.15	75.75	81.82	87.46	92.77	97.79
1¼:1	80	10.55	14.93	18.28	21.11	23.60	25.85	27.93	29.85	31.66	33.38	40.88	47.20	52.77	57.81	62.44	66.75	70.80	74.63	81.76	88.31	94.41	100.13	105.55
	85	11.30	15.98	19.58	22.61	25.27	27.69	29.90	31.97	33.91	35.74	43.78	50.55	56.51	61.91	66.87	71.48	75.82	79.92	87.55	94.57	101.09	107.23	113.03
	90	12.02	17.00	20.82	24.04	26.88	29.44	31.80	34.00	36.06	38.01	46.55	53.76	60.10	65.84	71.11	76.02	80.63	84.99	93.11	100.57	107.51	114.03	120.20
	95	12.71	17.97	22.01	25.41	28.41	31.12	33.62	35.94	38.12	40.18	49.21	56.82	63.53	69.59	75.17	80.36	85.23	89.84	98.42	106.30	113.64	120.54	127.06
1:1	100	13.36	18.89	23.14	26.72	29.87	32.72	35.34	37.78	40.08	42.24	51.74	59.74	66.79	73.17	79.03	84.49	89.61	94.46	103.48	111.77	119.48	126.73	133.59

* Calculées à partir de l'équation:

$$LS = \left(\frac{65.41\ s^2}{s^2 + 10{,}000} + \frac{4.56\ s}{\sqrt{s^2 + 10{,}000}} + 0.065\right)\left(\frac{\ell}{72.5}\right)^m$$

ISRAËLSEN ET AL (1980)

3.1.4 LE FACTEUR VM OU FACTEUR DE CONTROLE DE L'ÉROSION

Ce facteur permet de caractériser différentes conditions d'un sol mis à nu de même que les principales mesures de contrôle de l'érosion pouvant être appliquées sur un site donné, de façon à pouvoir intégrer les caractéristiques physiques du site dans l'équation de Wischmeier. Les moyens de contrôle pouvant être utilisés comprennent principalement la plantation d'arbustes, les manipulations mécaniques de la surface du sol et les traitements chimiques. Ils ne comprennent pas, cependant, la mise en place de remparts ou le creusage de fossés, ces deux dernières mesures étant comprises dans l'évaluation du facteur topographique LS (Israelsen et al 1980).

Il est possible, pour un site donné, de calculer la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés (A) avec et sans mesures d'atténuation. Les différences obtenues dans les valeurs de A permettent d'évaluer l'efficacité de la (des) mesure(s) de contrôle envisagée(s).

Le tableau 7 présente les valeurs de VM correspondant aux conditions de sol les plus fréquemment rencontrées et aux principales mesures d'atténuation utilisées.

Parmi les mesures les plus fréquemment utilisées dans la lutte contre l'érosion, on retrouve les couvertures protectrices du sol qui sont généralement constituées de paille ou de foin. Selon Israelsen et al (1980), qui se sont basés sur des résultats de recherche rapportés dans la littérature, cette méthode appelée paillis se caractérise généralement par une valeur d'environ 0,01 pour le facteur VM, du moins jusqu'à ce que la valeur du produit de R x K x LS excède un certain point critique au delà duquel le paillis perd de son efficacité. Donc, pour chaque valeur de R x K x LS, une quantité bien définie de paillis est nécessaire afin de maintenir une valeur de VM de près de 1 %. Les figures 10, 11 et 12 développées par Israelsen et al à partir de données provenant de sources publiées et non publiées, présentent cette relation pour la

paille ou le foin non fixés au sol, la paille ou le foin fixés au sol en travers d'une pente et les copeaux de bois. Pour utiliser ces figures il s'agit d'entrer la valeur de R x K x LS sur l'axe des Y, de tirer une droite imaginaire vers la droite jusqu'à la courbe déjà inscrite, puis de descendre verticalement jusqu'à l'axe des X, où se trouve le tonnage critique de paillis recommandé. Pour assurer au sol une protection optimale, il est important, en effet, que le tonnage de matériel utilisé soit suffisant tout en n'étant pas excessif. En effet, le rôle des paillis, en plus de prévenir l'érosion, est de favoriser la croissance des végétaux. La présence de paille ou de foin en quantité excessive est justement susceptible de nuire à la germination des graines et à la croissance de la végétation. Les valeurs à droite de la courbe correspondent au facteur 0.01, tandis que celles à gauche de la courbe correspondent à 1.0 ce qui signifie que le paillis sera inefficace avec les quantités alors utilisées (Israelsen, C.E. et al, 1980).

3.2 MÉTHODE A SUIVRE POUR L'ÉVALUATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE

La résolution de l'équation de perte de sol modifiée se fait en suivant les neuf étapes suivantes:

1- Déterminer avec précision la localisation du site de construction.

2- Déterminer la valeur de R en utilisant l'information obtenue à l'étape précédente et à la carte 1.

3- Estimer le laps de temps durant lequel le site de construction sera exposé aux agents d'érosion.

4- Si le laps de temps est inférieur à 1 an, il convient alors d'estimer la valeur de R pour chacun des mois ou la fraction de temps que dureront les travaux (voir méthode de calcul pour un mois donné ou un orage déterminé).

   Pour les périodes de temps de plus d'une année, il s'agit d'utiliser la figure 4 avec le nombre d'années et de lire la valeur de EI/R correspondante. La valeur annuelle de R est multipliée par ce rapport pour obtenir la valeur réelle de R devant être utilisée dans l'équation.

TABLEAU 7: VALEURS DE "VM"

CONDITION	VALEUR DU FACTEUR
- SOL A NU	
Fraîchement retourné sur 20 cm de profondeur	1,00
Après une pluie	0,89
Libre sur 30 cm, uni	0,90
Libre sur 30 cm, rugueux	0,80
Compacté à la machinerie, gratté, de bas en haut	1,30
+ racines enlevées	1,20
Compacté à la machinerie, gratté à travers la pente	1,20
+ racines enlevées	0,90
Rugueux, irrégulier avec des sillons dans toutes les directions	0,90
Fraîchement semé et fertilisé	0,64
Semé après six mois	0,54
Non labouré avec croûte	0,01
Labouré avec croûte	0,02
Très compacté	1,24-1,71
Gratté, mais non perturbé	0,66-1,0
Scarifié seulement	0,76-1,81
Sciure sur 17,5 cm, labouré	0,61
- ÉMULSION D'ASPHALTE SUR UN SOL NU	
14 000 litres/ha	0,02
13 600 litres/ha	0,01-0,019
7 000 litres/ha	0,14-0,57
3 500 litres/ha	0,28-0,60
1 700 litres/ha	0,65-0,70
- LIANT POUR PARTICULES	
7 000 litres/ha	1,05
13 600 litres/ha	0,29-0,78

TABLEAU 7: VALEURS DE "VM" (SUITE)

CONDITION	VALEUR DU FACTEUR
- AUTRES PRODUITS CHIMIQUES	
1 100 kg de fibres de verre libres avec 675 à 1,700 litres d'asphalte émulsifiée/ha	0,01-0,05
Aquatain	0,68
Aerospray 70, 10 % de recouvrement	0,94
Curasol AE	0,30-0,48
Petraset SB	0,40-0,66
PVA	0,71-0,90
Terra Tack	0,66
Mélange de copeaux 1 100 kg/ha,	0,05-0,73
Mélange de copeaux 450 kg/ha,	0,01-0,36
Mélange de copeaux, 1 600 kg/ha, Latex + Béton Portland	0,009-0,10
90 l/ha + 1 100 kg/ha	0,13
150 l/ha + 1 700 kg/ha	0,0006
- SEMIS	
Temporaire 0 à 60 jours	0,40
Temporaire après 60 jours	0,05
Permanent 0 à 60 jours	0,40
Permanent 2 à 12 mois	0,05
Permanent après 12 mois	0,01
- BROUSSAILLEUX	0,35
- COUVERTURE EXCELSIOR AVEC UN FILET DE PLASTIQUE	0,04-0,10
- PAILLIS	0,01-1,00

Source: Design of Sedimentation Basins Transportation Research Board # 70, Washington 1980, 54 p.

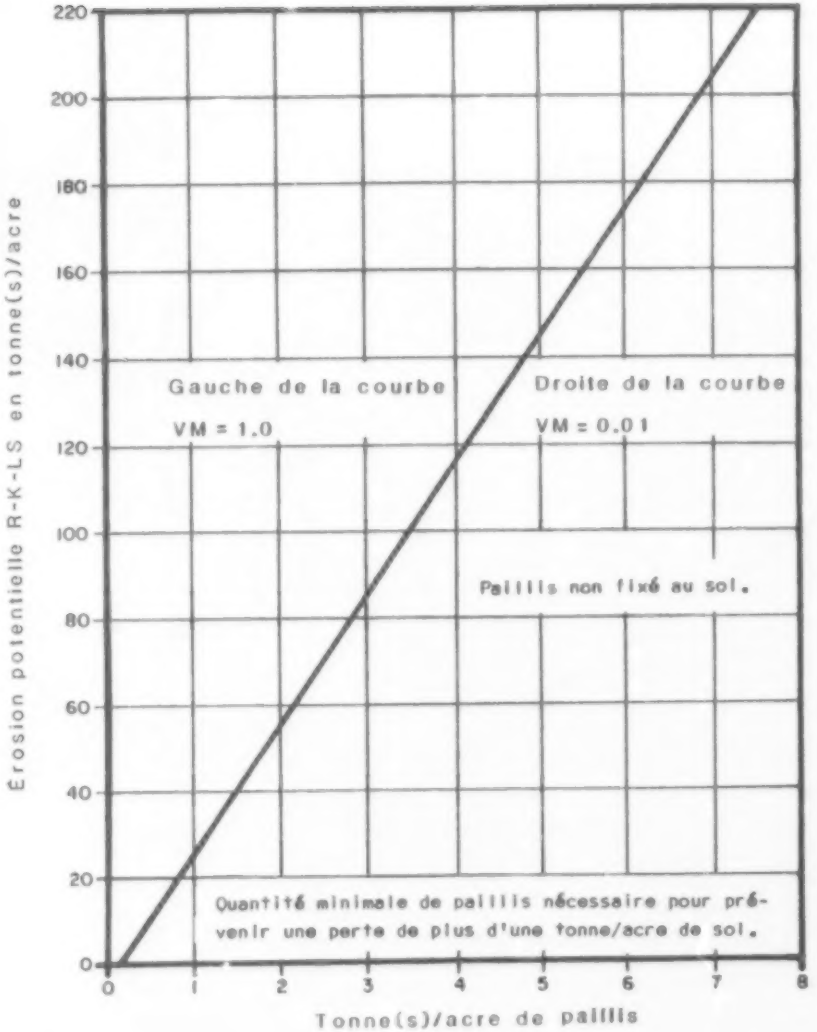


FIGURE 10 : PAILLIS NON FIXÉ AU SOL

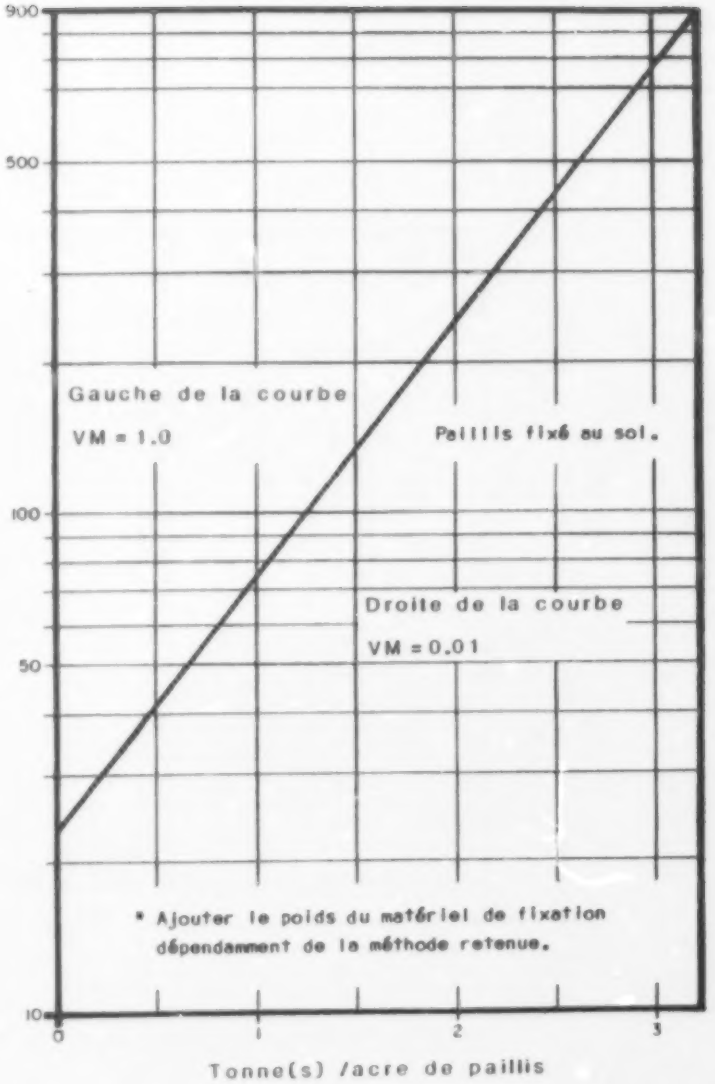


FIGURE 11: PAILLIS FIXÉ AU SOL

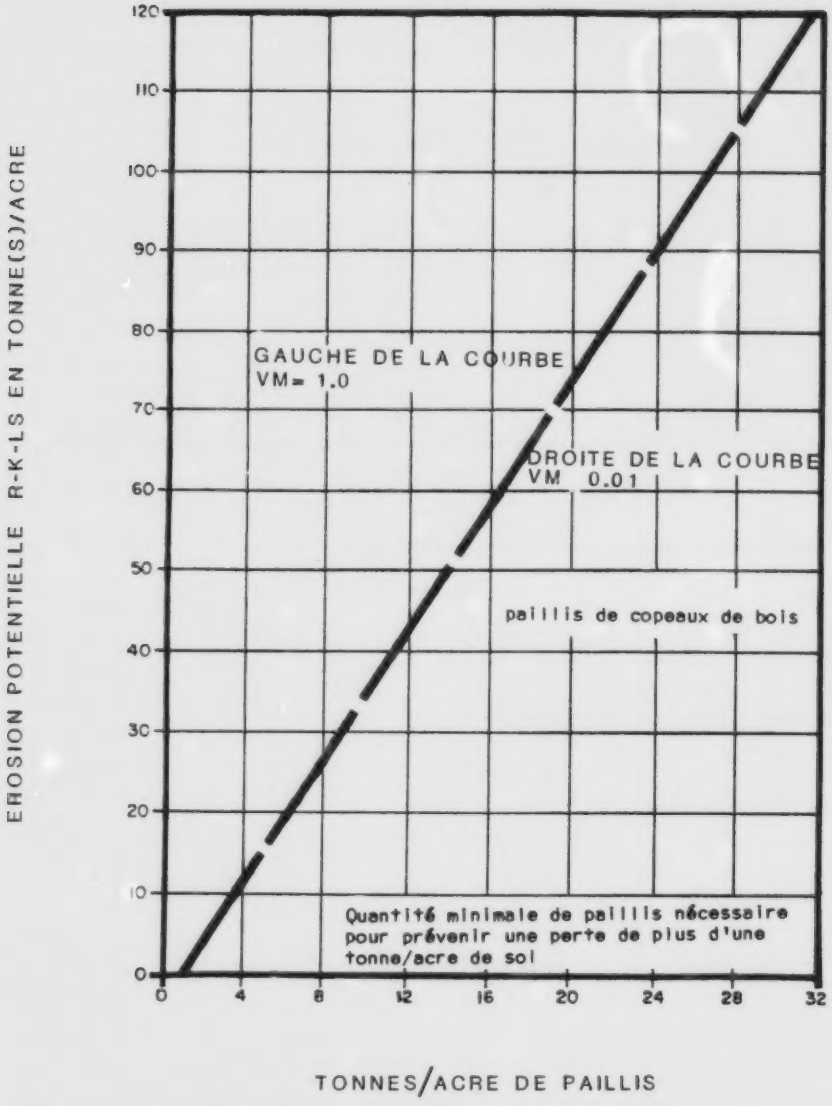


FIGURE 12: PAILLIS DE COPEAUX DE BOIS

5- En utilisant l'information de l'étape 1 relative à la localisation du projet, il convient de déterminer l'érodabilité des sols en présence en utilisant une carte appropriée d'inventaire des sols. Si une telle carte n'est pas disponible, la meilleure procédure à suivre est alors de prendre des échantillons de sol et de les analyser en fonction de la dimension des particules, du pourcentage de matières organiques, de la structure du sol et de sa perméabilité relative. Il est alors possible avec ces informations d'utiliser le nomogramme de la figure 5 et de déterminer le facteur K.

6- Déterminer la longueur de la pente en pieds

7- Déterminer l'inclinaison de la pente en %

8- Il convient en huitième étape de déterminer le facteur LS en utilisant le tableau 4 comme décrit à la section 3.1.3 et les données des étapes 6 et 7.

9- Le produit des résultats des étapes 4, 5 et 8 est la valeur de R x K x LS ou l'érosion potentielle.

10- La quantité de paillis requis, si cette méthode est retenue pour réduire l'érosion potentielle à 1 tonne/acre, peut être déterminée à l'aide des figures 10, 11 et 12.

Les autres mesures de contrôle sont présentées au tableau 7 de concert avec leurs valeurs VM approximatives. Cette valeur VM (pour une mesure de contrôle donnée), multipliée par le résultat de R x K x LS, fournit une bonne indication de l'efficacité de ladite mesure pour le contrôle de l'érosion.

11- Prendre en considération les limitations de l'équation telles que présentées ci-après.

3.3 LIMITATIONS RELATIVES A L'ÉQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DE SOL

L'équation utilisée pour l'évaluation des pertes de sol possède, toutefois, certaines limites d'application dont il est important de faire mention. Les principales, comme celles mentionnées par Israelsen et al (1980), sont les suivantes:

Ainsi,

- L'équation est semi-empirique et ne représente pas nécessairement l'exacte relation mathématique existant entre ses différents paramètres. Cette limitation est cependant surmontée grâce à l'utilisation de coefficients empiriques.

  Les données physiques sur lesquelles sont basées ces coefficients ne sont cependant valables que pour des pentes uniformes de 20 % et moins et d'une longueur maximale de 91 mètres.

- L'index précipitation-érosion ne mesure que l'érosivité des précipitations et du ruissellement y correspondant. L'équation ne prend donc pas en considération la perte de sol due aux eaux de dégel et de fonte des neiges. Dans les régions où de telles pertes sont significatives, elles doivent être estimées séparément puis ajoutées à celles évaluées par l'équation. La règle générale permet cependant de prévoir une érosion par la fonte des neiges équivalente à celle calculée pour le ruissellement (voir section 3.1.1.3).

- Cette équation n'est valable que pour l'érosion par plaques et l'érosion en rigoles. L'érosion par ravinement, qui suppose une forte concentration d'eau, n'est pas évaluée par cette formule.

- L'équation a été developpée pour prédire la perte de sol sur une base annuelle moyenne afin de limiter les erreurs inhérentes à une évaluation faite d'averse en averse. Elle n'évalue aussi que les pertes moyennes à long terme causées par l'érosion de surface. Elle ne permet pas de prédire les pertes de sol pour une année, une saison ou un orage particulier. Par contre, elle permet d'estimer la moyenne normale à long terme pour des années, des saisons et des orages similaires.

- De plus, selon Lagacé (1980), bien que cette équation soit utilisée à plusieurs endroits dans le monde, le principal problème lié à son utilisation dans les régions extérieures aux États-Unis n'est pas tant son adaptation aux conditions locales que l'obtention des coefficients locaux représentatifs des conditions très variables d'une région à l'autre.

3.4 EXEMPLE DE CALCUL: MÉTHODE D'ÉVALUATION QUANTITATIVE POUR LE CHOIX D'UN TRACÉ

Lorsqu'une simple approche qualitative s'avère insuffisante, il est possible, par le biais de la formule universelle de perte de sol, d'évaluer quantitativement, de façon sommaire et rapide, la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés pour chacun des tracés à l'étude dans un projet de construction routière donné.

Pour ce faire, il convient, dans un premier temps, de délimiter les sous-bassins versants traversés par chacun des tracés à l'étude, de même que:

- la superficie de chacun de ces sous-bassins,
- la longueur et la déclivité moyenne des pentes,
- les valeurs moyennes de R et de K,
- la proportion de chacun des sous-bassins versants touchés par les travaux,

et de procéder aux calculs tels que présentés ci-après:

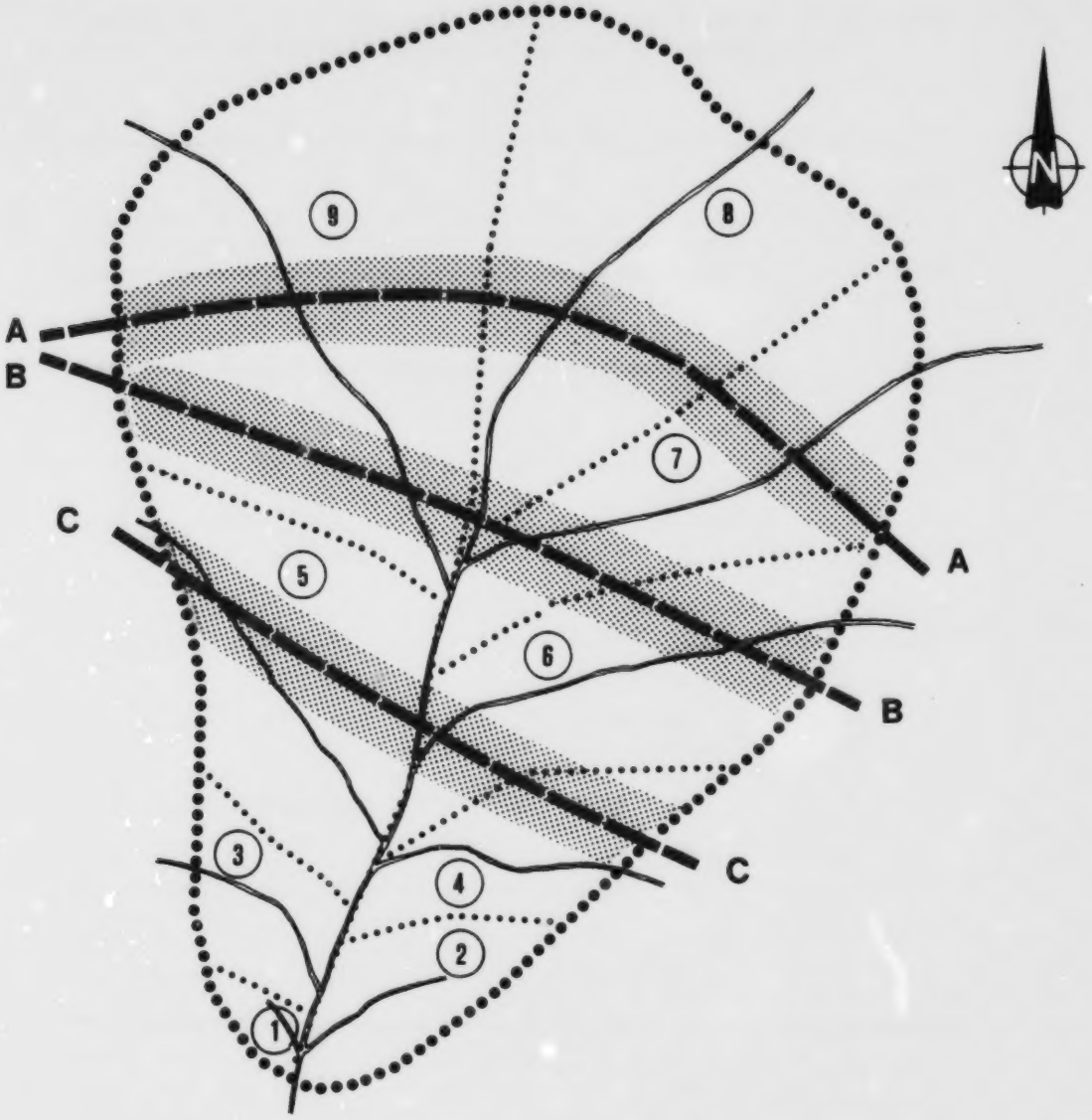
EXEMPLE:

L'exemple retenu suppose un projet de construction routière avec trois variantes de tracés A, B et C. Le bassin versant qui, dans le cas présent, englobe les trois tracés à l'étude, est premièrement déterminé, de même que les sous-bassins le composant.

La longueur et la déclivité moyennes des pentes sont évaluées pour chacun des sous-bassins ainsi que la valeur des autres paramètres de l'équation universelle de perte de sol modifiée. Dans le cas présent, R vaut 70 comme on l'a estimé à la figure 1, pour Montréal. Cette valeur est reportée au tableau 8.

La valeur du facteur K présentée dans ce même tableau a été obtenue comme suite à l'utilisation de résultats d'analyses de sol transposés sur le graphique de la figure 5. VM a été fixé à 1,0, ce qui correspond à un sol nu fraîchement retourné.

La figure 13 permet de visualiser la configuration des divers sous-bassins en rapport avec les trois tracés proposés.



TRACÉ

RUISSEAU

(1) À (9) SOUS BASSINS VERSANTS

ZONE TOUCHÉE PAR LES TRAVAUX

NON À L'ÉCHELLE

FIGURE 13: BASSINS VERSANTS ET CHOIX DE TRACÉ

TABLEAU 8: VALEURS DES PARAMETRES UTILISÉS POUR L'ÉVALUATION COMPARATIVE DES TROIS TRACÉS ÉTUDIÉS

SOUS-BASSIN	SUPERFICIE	K*	L (pieds)	S (%)	LS*	VM*	R*	A* (t/acre)
1	0,247	,35	98,4	4	0,2	1,0	70	4,9
2	0,741	,42	147,6	4	0,3	1,0	70	8,9
3	0,741	,32	147,6	5	0,3	1,0	70	11,2
4	1,729	,30	196,8	7	1,2	1,0	70	25,2
5	2,87	,36	246,0	7	1,5	1,0	70	37,8
6	2,37	,35	394.4	8	1,9	1,0	70	46,5
7	2,65	,32	82,0	8	0,9	1,0	70	20,2
8	3,21	,37	246,0	11	2,1	1,0	70	54,4
9	5,43	,35	344,4	10	2,3	1,0	70	56,4

K* Voir figure 5
LS* Voir figure 6
VM* Voir tableau 7
R* Voir figure 1
A* = R . K . LS

Les résultats obtenus à l'aide de ces données sont présentés au tableau 9.

TABLEAU 9: QUANTITÉ DE SÉDIMENTS ÉRODÉS PAR SOUS-BASSIN VERSANT

SOUS-BASSIN	SUPERFICIE (ACRE)	% SUPERFICIE TOUCHÉE	ÉROSION (t/acre)	ÉROSION (TONNES)
TRACÉ A				
7	2,65	27	20,2	14,4
8	3,21	25	54,4	43,6
9	5,43	20	56,4	61,2
			TOTAL	: 119,2
TRACÉ B				
6	2,37	25	46,5	27,6
7	2,65	15	20,2	8,0
8	3,21	4	54,4	7,0
9	5,43	20		61,2
			TOTAL	: 103,8
TRACÉ C				
4	1,73	47	25,2	20,4
5	2,87	33	37,8	35,8
6	2,37	15	46,5	16,5
			TOTAL	: 72,7

Érosion [tonne(s)] = % sup.touchée X sup.totale X érosion (t/acres)

Le tracé C, avec 72,7 tonnes de sédiments érodés, est donc celui qui a le moins d'impacts au niveau de l'érosion, qui seraient occasionnés par les travaux de construction.

En dernière étape, le tableau 10 indique la fraction de sédiments qui sera exportée hors de chaque sous-bassin versant, en supposant qu'autant de sable que d'argile ait été érodé. Ces données ont été obtenues à l'aide de la figure 15, qui est présentée à la page 77.

TABLEAU 10: FRACTION DE SÉDIMENTS EXPORTÉS HORS DE CHAQUE SOUS-BASSIN

SOUS-BASSIN	% SABLE EXPORTÉ	% ARGILE EXPORTÉE	% SÉDIMENTS EXPORTÉS
4	40	90	65
5	52	100	76
6	56	100	78
7	54	100	77
8	50	100	75
9	44	100	72

3.4.1 MÉTHODE D'ÉVALUATION POUR UN ORAGE DE 24 HEURES

Il est aussi possible de connaître la quantité moyenne de sédiments érodés à la suite d'une averse de 24 heures / 2 ans.

Ainsi, en prenant R = 14,7 pour la région de Montréal, l'érosion totale A équivaudrait alors à:

TABLEAU 11: ÉROSION TOTALE POUR LE TRACÉ A

SOUS-BASSIN	ÉROSION TOTALE (TONNE)
7 (K x LS x VM x R x sup. touchée x sup. totale)	= 3,03
8 (K x LS x VM xR x sup. touchée x sup. totale)	= 9,17
9 (K x LS x VM x R x sup. touchée x sup. totale)	= 12,80
	TOTAL = 25,00

Ainsi, le sous-bassin 9 du tracé A aurait, pour un orage de 24 h/2 ans, 9,2 tonnes de sédiments exportés (soit 72 % de 12,8 tonnes, voir tableaux 10 et 11).

3.5 EXEMPLE DE CALCUL: ÉVALUATION DE LA QUANTITÉ DE SÉDIMENTS ÉRODÉS POUR LE TRACÉ RETENU

Une fois le tracé de moindre impact déterminé, il est important, dans un deuxième temps, d'estimer avec plus de précision la quantité de sédiments susceptibles d'être érodés et transportés à l'intérieur des limites du chantier de construction. Pour ce faire, il est nécessaire de connaître:

- les valeurs des facteurs R, K et VM,
- les détails géométriques de la route concernant la longueur (L) et l'inclinaison (S) des pentes pour chacun des éléments de chaque segment constituant la route étudiée,
- la superficie desdits éléments pour chacun des segments (talus, chaussée, accotement,...).

La figure 14 présente un exemple typique d'une coupe transversale d'une route et de ses divers éléments qui sont: l'accotement, les talus intérieurs et extérieurs, le fond du fossé et la chaussée.

EXEMPLE DE CALCUL

Le tronçon de route étudié est premièrement divisé en segments. Un segment est défini comme étant une section de la route dont les éléments sont uniformes (mêmes pentes,...). Sur les coupes transversales habituellement disponibles au ministère des Transports du Québec par exemple, la longueur de ces segments est généralement de 20 mètres (66 pi). Cependant, si les caractéristiques géométriques des différents éléments de la route sont uniformes sur plus de 20 mètres, il est alors possible d'utiliser des segments plus longs.

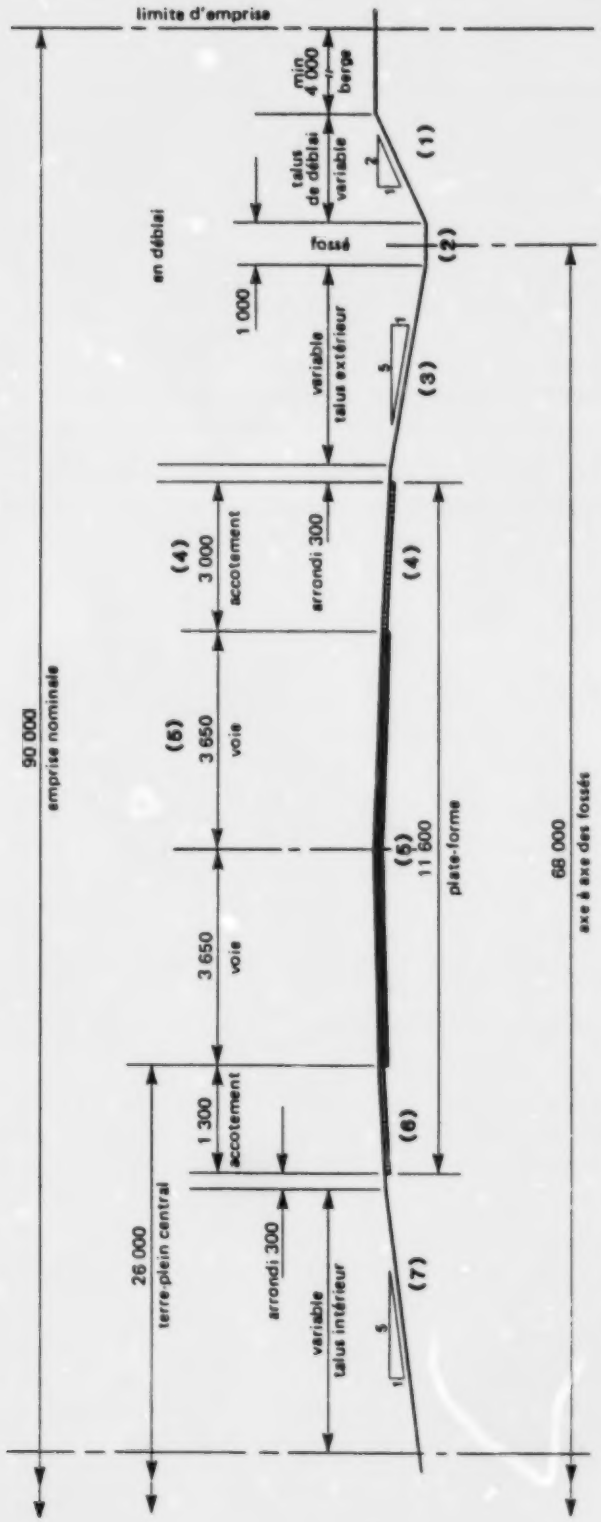


FIGURE 14 : TYPE A– AUTOROUTE A 4 VOIES

TABLEAU 12: CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES ET PHYSIQUES DE CINQ ÉLÉMENTS D'UN SEGMENT DE ROUTE

	R1	R3	K	L(pi)	S%	LS	L LARGEUR	SUPERFICIE (pi 2))
TALUS INTÉRIEUR	70	14,7	0,33	9	20	0,8	66	594
FOND DE FOSSÉ	70	14,7	0,33	66	5	0,7	9	594
TALUS EXTÉRIEUR	70	14,7	0,33	13,5	30	1,5	66	891
ACCOTEMENT	70	14,7	0,33	66	5	0,7	10,5	693
CHAUSSÉE	70	14,7	0,33	66	4	0,1	22,25	1468,5

Le tableau 12 présente les caractéristiques géométriques des cinq principaux éléments d'un segment de route d'une longueur de 20 mètres de même que la valeur des facteurs R, K et LS. Une fois en possession de ces données, il est possible de calculer, à l'aide de l'équation universelle de perte de sol, le taux d'érosion (A) appréhendé pour chacune de ces composantes (A = R x K x LS). L'étape subséquente consiste à multiplier les valeurs ainsi obtenues par la superficie correspondante de chacun des éléments étudiés afin d'obtenir la quantité de sédiments érodés en tonnes. La sommation de ces valeurs pour les cinq éléments du segment étudié fournit l'estimation de l'érosion totale susceptible de se produire sur ledit segment de route. Finalement, l'addition des valeurs ainsi obtenues pour chacun des segments d'un tronçon de route traversant un sous-bassin versant donné fournit une bonne indication de la quantité de sédiments qui seront érodés pour l'ensemble de ce tronçon.

La méthode présentée est d'autant plus intéressante qu'elle permet d'estimer l'érosion sur un tronçon de route selon quatre scénarios qui sont ainsi définis:

A_1: La quantité totale de sédiments, en tonnes, produite durant la période de construction, en supposant qu'aucune mesure d'atténuation n'a été appliquée.

A_2: La quantité totale de sédiments, en tonnes, produite durant la période de construction, en posant l'hypothèse qu'une série de mesures d'atténuation a été appliquée.

A_3: La quantité totale de sédiments, en tonnes, produite durant un orage de 24 heures et d'une période de retour de 2 ans, et posant l'hypothèse qu'aucune mesure d'atténuation n'a été appliquée.

A_4: La quantité totale de sédiments, en tonnes, produite durant un orage de 24 heures d'une période de retour de 2 ans en supposant qu'une série de mesures d'atténuation ont été appliquées.

Le tableau 13 présente les résultats obtenus dans le cas de l'exemple présenté à partir du schéma de la figure 14 et du tableau 12.

Les calculs précédents sont surtout présentés à titre d'information car il existe un programme informatique appelé EROSION qui permet de procéder aux mêmes calculs beaucoup plus rapidement. Ce programme mis au point par le Service de l'environnement du ministère des Transports du Québec, permet une évaluation rapide des risques potentiels d'érosion susceptible de se produire sur les projets de construction routière. Une meilleure appréciation de ces risques facilite l'élaboration des mesures d'atténuation les plus appropriées et permet de diminuer, par le fait même, les impacts et les coûts supplémentaires inhérents à l'érosion.

TABLEAU 13: ÉVALUATION DE L'ÉROSION POUR LES CINQ ÉLÉMENTS DU SEGMENT DE ROUTE ÉTUDIÉ (COTÉ DROIT)

	A1	A3	A1	A3	VM	A2	A4
TALUS INTÉRIEUR	18,5	3,9	0,25	0,05	0,7	0,18	0,04
FOND DE FOSSÉ	16,2	3,4	0,66	0,05	0,6	0,40	0,03
TALUS EXTÉRIEUR	34,2	7,3	0,71	0,14	0,5	0,36	0,07
ACCOTEMENT	16,2	3,4	0,33	0,05	0,9	0,30	0,05
CHAUSSÉE	2,31	0,5	0,70	0,02	0,6	0,40	0,01

3.5.1 ÉVALUATION DE LA FRACTION DES SÉDIMENTS ÉRODÉS QUI SERONT TRANSPORTÉS A L'INTÉRIEUR DES LIMITES DU CHANTIER DE CONSTRUCTION

Une fois que la quantité de sédiments susceptible d'être érodée à un endroit donné est connue, il peut s'avérer nécessaire d'évaluer la fraction de ces sédiments qui seront déplacés à l'intérieur des limites du site de construction. Ceci permet de mieux cerner l'importance des impacts susceptibles de se produire et de calculer la dimension optimale du ou des bassins de sédimentation à construire, si cette solution est retenue.

Il n'existe encore aucune méthode créée spécialement en fonction des caractéristiques d'un site de construction routière et permettant d'évaluer la quantité de sédiments déplacée. Il est toutefois possible de procéder à une estimation sommaire de cette quantité de sédiments à l'aide du graphique de la figure 15 mettant en relation la superficie du bassin de drainage et la dimension des particules. Ainsi, selon ce graphique, pour une superficie donnée de 2 acres, (.81 ha), 55 % des sables et 100 % des argiles érodés seront transportés. Une moyenne de 78 % du volume total des sédiments érodés atteindront donc les cours d'eau ou les bassins de sédimentation, en supposant qu'autant de sable que d'argile ait été érodé.

Les deux droites de ce graphique ont été construites comme suite aux résultats de plusieurs études antérieures portant sur le sujet.

Une fois que la quantité de sédiments érodés susceptibles d'être transportés est connue, il est possible de bien définir les impacts risquant de se produire et de choisir les mesures d'atténuation les plus appropriées. Les principaux types de mesures d'atténuation existantes ainsi que leurs modalités d'installation et de fonctionnement sont présentés en détail à l'annexe 2.

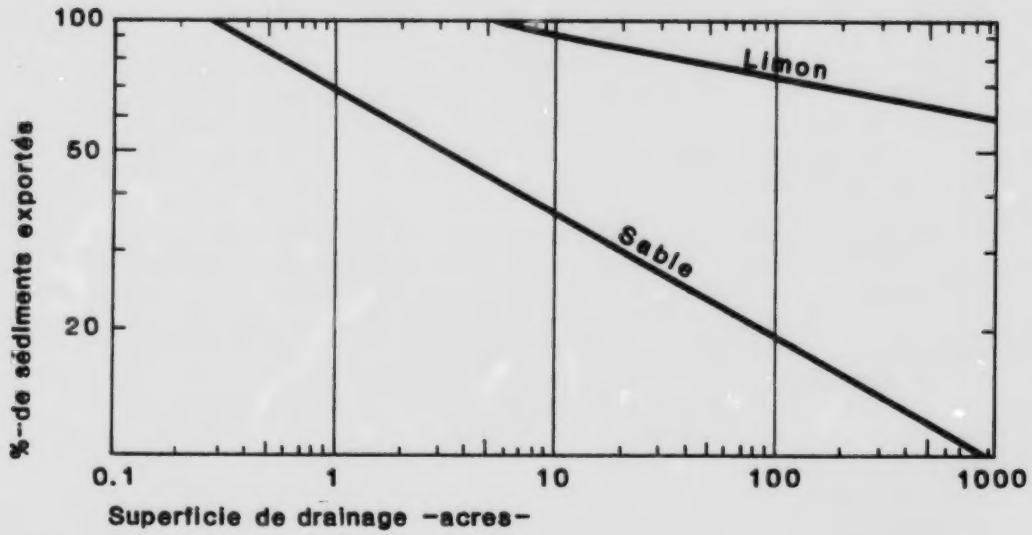


FIGURE 15: POURCENTAGE DE SÉDIMENTS TRANSPORTÉS EN FONCTION DE LA SUPERFICIE

4

RECOMMANDATIONS

4 RECOMMANDATIONS

4.1 RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES

Compte tenu des lacunes identifiées précédemment au niveau de l'application de l'équation universelle de perte de sol modifiée au Québec, il conviendrait que certaines études soient entreprises afin de mieux définir les divers paramètres de l'équation en fonction des caractéristiques climatiques, pédologiques et autres des différentes régions québécoises.

Il est donc recommandé:

- de mettre sur pied un projet de recherche universitaire afin qu'une carte précisant les différentes valeurs du facteur "K" soit établie dans les principales régions du Québec;

- de lancer un projet de recherche universitaire afin qu'une carte précisant les différentes valeurs du facteur "R" soit établie pour les principales régions du Québec;

- que le Service de l'environnement poursuive l'informatisation des calculs de l'érosion et du transport des sédiments dans les cours d'eau et les lacs;

- de diffuser le guide au niveau des Services des projets à Québec et à Montréal ainsi qu'aux niveaux des Directions régionales de la Direction générale des opérations;

- que les projets jugés "sensibles" par le Service de l'environnement fassent l'objet d'une évaluation préliminaire par le Service des sols et chaussées. A ce stade, au moins un échantillon représentatif du sol sera récolté et analysé en laboratoire pour fournir la courbe granulométrique du sol ainsi que la valeur du facteur "K";

- que le Service de l'environnement, en tenant compte des préoccupations de génie routier provenant des services techniques procède, lors des études, aux calculs nécessaires afin d'identifier les quantités de sédiments érodés et transportés dans les lacs et les cours d'eau;

- que le Service de l'hydraulique soit responsable de la conception des bassins de sédimentation si cette méthode d'atténuation est retenue pour un projet donné;

- que les Services des projets, les districts et Directions régionales ainsi que le Service de l'environnement procèdent progressivement à l'expérimentation des mesures d'atténuation suggérées dans le guide;

- que le Service de l'environnement agisse à titre de coordonnateur pour les différents intervenants, fasse le bilan de ces expérimentations et diffuse l'information auprès des principaux intervenants du Ministère;

- que les spécialistes du Ministère dans ce domaine améliorent et maintiennent à jour leur expertise sur le sujet en participant à divers colloques.

4.2 RECOMMANDATIONS SUGGÉRÉES POUR INTÉGRATION AU CAHIER DES CHARGES ET DEVIS

Compte tenu des répercussions tant économiques qu'environnementales inhérentes à l'érosion, et de la préoccupation de plus en plus importante du ministère des Transports face à ce phénomène, il est recommandé qu'une nouvelle section portant spécialement sur l'érosion soit ajoutée au Cahier des charges et devis généraux. Cette nouvelle section pourrait se lire comme ceci:

"ÉROSION

Généralités:

L'érosion est un processus selon lequel les particules de sol sont détachées, transportées et déposées à une certaine distance de leur lieu d'origine sous l'effet de la pluie et de son ruissellement ou du vent.

Ce phénomène est particulièrement présent sur les sites de construction routière où de grandes superficies de terrain sont déboisées et laissées à nu pendant un laps de temps dont la durée peut s'échelonner de quelques mois à plus d'un an.

Prévention de l'érosion sur les chantiers de construction:

Afin de prévenir l'érosion sur les chantiers, l'entrepreneur doit:

- planifier les travaux de façon à limiter la quantité de matériel susceptible d'être érodé et transporté vers les cours d'eau, lacs et terres avoisinants.

Pour ce faire, il doit s'assurer que la superficie des terrains déboisés et laissés à nu à un moment donné de même que le temps d'exposition desdits terrains aux agents atmosphériques sont limités au strict minimum nécessaire pour les travaux en cours. Le déboisement doit donc être restreint au segment de route en voie de construction. Avant le début des travaux, l'entrepreneur spécifie le temps d'exposition ainsi que le segment de la route à déboiser ou à dénuder et les soumet à l'approbation du surveillant des travaux.

L'entrepreneur doit aussi s'assurer que:

- les eaux de ruissellement provenant de l'extérieur du site de construction sont interceptées et acheminées hors du chantier vers des endroits stabilisés, et ce durant toute la période de construction, avant la stabilisation finale du chantier. L'entrepreneur prépare un croquis et une description des travaux qu'il entend faire pour réaliser cet objectif et les soumet à l'approbation du surveillant des travaux;

- si les travaux de construction ne sont pas terminés avant la saison hivernale, et que leur reprise n'est prévue que pour le printemps suivant, le chantier devra être bien "HIVERNISÉ", c'est-à-dire que des mesures de protection physiques ou chimiques devront être mises en place afin d'éviter toute perte de sol due à la pluie et aux eaux de fonte des neiges. Avant la fin des travaux, à l'automne, l'entrepreneur prépare un croquis et une description des travaux de protection qu'il entend faire contre l'érosion et les soumet à l'approbation du surveillant des travaux.

- les talus sont bien stabilisés à la fin des travaux.

Lors de la planification et de l'exécution des mesures préventives contre l'érosion, l'entrepreneur doit s'inspirer de ce guide.

RÉFÉRENCES

CLARK, E.H. The Off-Site Costs of Soil Erosion, Journal of Soil and Water Conservation, 1985, pp. 19-22.

DUBE, Armand. L'eau et l'érosion des sols, ministère des Richesses naturelles du Québec, vol. G (4): 1985, pp. 8-15.

DUDAL, R., et al. Soil Conservation Problems and Prospects, John Wiley and sons, 1980, 576 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Control of Erosion and Sediment Deposition from Construction of Highway and Land Development, Office of water Programs, E.-U., 1971, 41 p.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Guidelines for Erosion and Sediment Control Planning and Implementation, Office of Research and Montoring, Washington, 1972, 59 p.

GOLUBEV, G.N. Economic Activity, Water Resources and the Environment: a Challenge of Hydrology, Hydrological Sciences-Journal des sciences hydrologiques, 28, 1,3.

HENENSAL, P. L'érosion externe des sols par l'eau. Approche quantitative et mécanismes, ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports, Paris, 1986, 75 p.

HIGHWAY RESEARCH BOARD. Design of Sedimentation Basins. National Cooperation Highway Research Program # 70. National Academy of Sciences USA, 1980, 52 p.

HIRSCHI, M.C., BAGFIELD, B.J. MOORE, I.D. Modeling Erosion of Long Steep Slopes with Emphasis on the Rilling Process, Kentucky Water Res. Research Inst., Lexington, 1983, 210 p.

HOGG, D.D. et CARR D.A. Atlas de la fréquence des pluies au Canada, programme climatologique canadien, Environnement Canada, 1985, 14 p.

ISRAELSEN, C.E., et al. Erosion Control during Highway Construction. National Coop. Highway Res. Programm # 221. Transportation Research Board, Washington D.C., 1980, 23 p.

ISRAELSEN, C.E., GLYDE, C.G., et al. Erosion Control during Highway Construction, National Coop. Highway Research Programm, Report # 220, Transportation Research Board, Washington, E.-U., 1980, cartes.

JONES, B. Floating Silt Barriers WP-134-74-01, Planning of Design Section, Eastern Region, Kingston, 1983, 15 p.

LANDRY ET MERCIER. Eléments de géologie, 1983.

MCLUCKIE, R. Floating Silt Barriers for Ontario, Ontario Ministry of Transportation and Communication, Downview, 1983, 39 p.

MINISTERE DES TRANSPORTS. Cahier des charges et devis généraux, Gouvernement du Québec.

OFFICE OR AIR AND WATER PROGRAMS. Processus, Procedure and Méthods to Control Pollution Resulting from al Construction Activity, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 20460, 1973, 234 p.

OFFICE OR RESEARCH AND MONITORING. Guidelines for Erosion and Sediment Control Planning and Implementation, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 20460, 1972, 228 p.

RIPLEY, P.O., et al. L'érosion du sol par l'eau au Canada, 1959.

ROTH, C.B., et al. Prediction of Subsoil Erodibility Using Chemical, Mineralogical and Physical Parameters, Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 20460, 1974, 111 p.

SOLOMON, S.L., GUPTA, S.K. Distributed Numerical Model for Estimating Runoff and Sediment Descharge of Ungauged Rivers. Part I, II, III. University of Waterloo, Ontario, 1976.

UNIVERSITE LAVAL. "Erosion et conservation des sols", Compte-rendu des conférences, 8e colloque de génie rural, Ed. R. Lagacé, 1980, 135 p.

WISCHMEIER, W.H. et SMITH D.D. Rainfall Energy and its Relation to Soil Loss, Transport Amenagement Geophys. Union. Vol 39, 1958, pp. 285-291.

WISCHMEIER, W.H. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil Loss Equation. Soil Science Society of America Proceeding 23: 1959, pp. 246-249.

WISCHMEIER, W.H. Rainfall Erosion Potential - Geographic and Locationel Differences of distribution. Ag. Eng. ASAE 43 (4), 1962, pp. 215-222, 225.

WISCHMEIER, W.H. et SMITH D.D. "Predicting Rainfall-Erosion Losses from Crop Land East of the Rocky Montains", Agriculture Handbook no 382, Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, 1965.

WISCHMEIER, W.H. et SMITH D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. U.S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook, no 537, 1978, 58 p.

YOUNKIN, I.M., WRIGHT, D.L. Higway Construction Effects on Streams-Post, Department of Civil Eng. Buckwell University, PensyIvania, 1977, 51 p.

RÉFÉRENCES UTILISÉES NON-CITÉES

CHOW, V.T. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co., Toronto, 1959, 680 p.

COUTURIER, S. Construction du gazoduc entre GrandMère et Chambord: Surveillance environnementale de la traversée de la rivière aux Eaux-Mortes, SAGE, Québec, 1984, 8 p.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. Highway in the River Environment Hydraulic and Environmental Design Consideration, Civil Eng. Dept., Colorado Sta. Univ., FortCollins Colorado, 1975.

FOSTER, S.R. et al. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units, U.S. Dept. Of Agriculture. Soil conservation Soc. of Am, Nov-Dec, 1981, pp. 355-359.

GERMAIN, M. Essais et analyse d'un modèle d'érosion des sols agricoles pour le Québec. INRS-Eau, Québec, 1985, 104 p., Mémoire de maîtrise.

HANSEN, E.A. In-Channel Sedimentation Basins. A Possible Tool for Trout Habitat Management, U.S. Dept. of Agriculture, North Central Forest, Esp. Station, East Lansing, 1976, pp. 138-142, The Progressive Fish Culturist.

HIGHWAY RESEARCH BOARD. Erosion Control on Highway Construction, Nat. Coop. Highway Research Programm # 18, National Academy of Sciences, USA, 1973, 52 p.

OFFICE DE LA LANGUE FRANCAISE, A.Q.T.E. Dictionnaire de l'eau, Ed. officielle du Québec, Québec, 1978, 286 p.

ANNEXE 1

UNITÉS ET FACTEURS DE CONVERSION DES PARAMÈTRES DE LA FORMULE UNIVERSELLE DE PERTE DES SOLS

CONVERSION DES PARAMÈTRES DE L'E.U.P.S.

	SYSTEME ANGLAIS	FACTEUR DE CONVERSION	SYSTEME INTERNATIONAL
PERTES DES SOLS (A)	$\frac{\text{tonne}}{\text{acre}}$	2,242	$\frac{\text{tonne}}{\text{hectare}}$
PERTES DES SOLS (A)	$\frac{\text{tonne}}{\text{acre}}$	0,2242	$\frac{\text{kilogramme}}{\text{mètre}^2}$
ERODABILITE DES SOLS (K)	$\frac{\text{tonne . acre . heure}}{\text{(100) acres . pied . tonne f . pouce}}$	0,1317	$\frac{\text{tonne . hectare . heure}}{\text{hectare . mégajoule . millimètre}}$
EROSIVITE, ANNUELLE (R)	$\frac{\text{(100) pieds . tonne f . pouce}}{\text{acre . heure . année}}$	17,02	$\frac{\text{mégajoule . millimètre}}{\text{hectare . heure . année}}$
EROSIVITE, ORAGE EI	$\frac{\text{(100) pieds . tonne f . pouce}}{\text{acre . heure}}$	17,02	$\frac{\text{mégajoule . millimètre}}{\text{hectare . heure}}$
EROSIVITE, ORAGE EI	$\frac{\text{pied . tonne f . pouce}}{\text{acre . heure}}$	0,1702	$\frac{\text{mégajoule . millimètre}}{\text{hectare . heure}}$
INTENSITE DE PLUIE i OU I	$\frac{\text{pouce}}{\text{heure}}$	25,4	$\frac{\text{millimètre}}{\text{heure}}$
ENERGIE, AVERSE E	$\frac{\text{pied . tonne f}}{\text{heure}}$	0,006701	$\frac{\text{mégajoule}}{\text{hectare}}$

ANNEXE 2

MESURES D'ATTÉNUATION

MESURES D'ATTÉNUATION

NOTE:

La mention de certains produits ou marques de commerce ne doit pas être interprétée comme une recommandation ou un appui à l'égard de ces produits de la part du Service de l'environnement.

Les mesures de contrôle de l'érosion ont été regroupées en quatre sections (A, B, C, D), dépendamment de leurs modalités de fonctionnement.

On retrouve donc les couvertures protectrices des sols, les ouvrages de dérivation du ruissellement, les ouvrages de captage des sédiments et les membranes géotextiles utilisées en milieu aquatique. Chacune de ces méthodes est conçue de façon à intervenir à un moment bien précis (ou déterminé) du processus de l'érosion, soit au niveau de l'impact des gouttes de pluie sur le sol, du transport des sédiments ou de leur sédimentation.

Tout programme visant le contrôle de l'érosion sur un projet donné, incluant le choix des mesures d'atténuation les plus pertinentes, débute en fait dès l'étape de planification du projet. Ainsi, comme déjà spécifié, il convient de limiter le plus possible la surperficie de terrain déboisé à un moment donné et le temps d'exposition de ladite surface.

Il est important de noter aussi que le choix du moment où se fera l'implantation des mesures d'atténuation s'avère généralement aussi important que les mesures retenues elles-mêmes.

Il est aussi recommandé que soient déterminés, en tout début d'opération, le tracé et les pentes susceptibles d'occasionner le moins d'érosion. Ceci permet généralement d'éviter de nombreux problèmes lors de la réalisation du projet.

En terminant, soulignons que tout programme de contrôle de l'érosion et de la sédimentation durant un projet de construction routière est susceptible de combiner deux ou plusieurs des méthodes présentées.

Il est donc essentiel que l'ordre d'utilisation des différentes méthodes retenues, leur localisation, leur moment d'installation et leur entretien soient clairement définis sur les plans et respectés sur le terrain.

ANNEXE 2 - MESURES D'ATTÉNUATION

TABLE DES MATIERES i

LISTE DES TABLEAUX iv

LISTE DES FIGURES v

LISTE DES PHOTOGRAPHIES viii

NOTE 1

MESURES D'ATTÉNUATION

A) Les couvertures protectrices des sols

Généralités A-3

La couverture excelsior A-4

Natte de fibre de verre A-7

Glassroot A-9

Filet de jute A-12

Paille ou foin A-17

Copeaux de bois A-20

Éro-mat et éro-mat plus A-22

Beno-vert A-24

Paillis en fibres de bois A-25

B) Les stabilisants chimiques

Généralités B-3

Liant aérospray 52 B-5

Curasol AH B-7

Émulsion asphaltique B-9

Terra-tack B-11

C) Les ouvrages de contrôle du ruissellement

Généralités C-3

Seuils C-4

Canal d'amenée d'eau C-7

Remblai de dérivation C-10

Digue ou berme filtrante C-14

Tuyau flexible C-17

Gabions C-21

Digues d'interception C-23

Diffuseur d'écoulement C-26

Barrières de sacs de sable C-28

Tuyau à écoulement libre C-30

Natte de retenue de sédiments C-33

D) Les ouvrages de captage des sédiments:
les bassins de sédimentation

Généralités D-3

Définitions D-4

Localisation D-7

Conception d'un bassin de sédimentation D-8

E) Les membranes géotextiles en milieu aquatique

Généralités E-3

Clôture à limon E-4

Barrière en eaux peu profondes E-4

Barrière en eaux profondes E-4

Exemple E-5

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU A-1: Probabilité pour que des pluies avec certaines périodes de récurrence données se produisent pendant la durée de vie d'un bassin.

TABLEAU A-2: Diamètres des conduites verticales en fonction des conduites horizontales.

TABLEAU A-3: Écoulement dans les conduites en pi^{-3}/sec., N = 0.025, pour la détermination du diamètre de la conduite horizontale pour évacuateur avec conduite en métal ondulé (écoulement plein tuyau).

TABLEAU A-4: Écoulement dans les tuyaux en pi^{-3}/sec., N = 0.0013. Détermination du diamètre de la conduite horizontale pour un évacuateur avec conduite de béton (écoulement plein tuyau).

TABLEAU A-5: Valeurs pour la conception des déversoirs avec une crête de 20 pieds, des pentes latérales de 2:1 recouvertes de végétation et un nombre de Manning "N" de 0.04.

LISTE DES FIGURES

FIGURE A-1: Croquis d'un canal d'amenée d'eau.

FIGURE A-2: Vue en plan d'un remblai de dérivation.

FIGURE A-3: Coupe transversale d'un remblai de dérivation.

FIGURE A-4: Berme filtrante et trappe à sédiments installées dans un fossé de route.

FIGURE A-5: Tuyau flexible (vue en plan).

FIGURE A-6: Tuyau flexible (coupe transversale).

FIGURE A-7: Tuyau flexible installé.

FIGURE A-8: Digue d'interception (coupe transversale).

FIGURE A-9: Digue d'interception (vue en plan).

FIGURE A-10: Croquis d'un diffuseur d'écoulement.

FIGURE A-11: Bonnes et mauvaises localisations pour la mise en place de bassins de sédimentation.

FIGURE A-12: Croquis correspondant à l'équation (1-a).

FIGURE A-13: Nomogramme permettant de résoudre l'équation (1-a) pour l'évaluation de la profondeur de rétention d'un réservoir.

FIGURE A-14: Hydrologie: solution de l'équation du ruissellement.

FIGURE A-15: Courbe granulométrique.

FIGURE A-16: Diagramme pour la détermination du taux de débordement (V_o).

FIGURE A-17: Efficacité d'un bassin de sédimentation selon Camp avec un écoulement turbulent.

FIGURE A-18: Bassins de sédimentation construits à même un réservoir naturel.

FIGURE A-19: Bassins de sédimentation excavés.

FIGURE A-20: Détails suggérés pour la construction d'un bassin de sédimentation avec digue de roches et membrane filtrante.

FIGURE A-21: Évacuateur avec entrée en chute.

FIGURE A-22: Courbe des débits jaugés pour l'entrée de la conduite verticale d'un évacuateur pour les deux modes d'écoulement.

FIGURE A-23: Croquis d'un évacuateur d'urgence et explications relatives au tableau (A-5).

Figure A-24: Barrière de type "Florida".

Figure A-25: Barrières à limon utilisées au lac Vernon.

Figure A-26: Barrières à limon du lac Vernon (culées sud et nord).

Figure A-27: Localisation des barrières à limon du lac Vernon/Hunter's Bay.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

PHOTO 1: Couverture EXCELSIOR et crampon.

PHOTO 2: Installation de la couverture EXCELSIOR et des crampons permettant une meilleure stabilisation sur le sol.

PHOTO 3: Natte de fibre de verre installée près d'un ponceau.

PHOTO 4: Application de Glassroot.

PHOTO 5: Surface traitée avec de la fibre de verre (Glassroot).

PHOTO 6: Glassroot devient partie intégrante de la végétation.

PHOTO 7: Filet de jute.

PHOTO 8: Installation d'un filet de jute.

PHOTO 9: Filet de jute installé sur un paillis végétal.

PHOTO 10: Un puissant souffleur éjecte la paille sur une surface à protéger.

PHOTO 11: Épandage de paille sur une grande échelle.

PHOTO 12: Application d'asphalte liquide afin d'agglomérer le paillis

PHOTO 13: Copeaux de bois.

PHOTO 14: Application de fibres de bois à l'aide d'un hydro-semoir calibré.

PHOTO 15: Un liant chimique est appliqué sur une surface dénudée qui sera ensemencée à une date ultérieure.

PHOTO 16: Un liant chimique appliqué sur un paillis végétal.

PHOTO 17: Un paillis chimique appliqué simultanément avec de la chaux, des fertilisants et des semences.

PHOTO 18: Seuils constitués de gabions et de roches.

PHOTO 19: Seuil construit en roche et en bois.

PHOTO 20: Canal d'amenée d'eau en béton.

PHOTO 21: Canal muni de dissipateurs d'énergie.

PHOTO 22: Remblai de dérivation au sommet d'une pente.

PHOTO 23: Remblai de dérivation construit par un tracteur qui a gratté le sol de bas en haut, laissant une crête de sol au sommet.

PHOTO 24: Berme filtrante opérationnelle.

PHOTO 25: Tuyaux flexibles installés sur une pente sujette à l'érosion.

PHOTO 26: Gabions protégeant la rive extérieure d'un méandre de rivière.

PHOTO 27: Gabions utilisés pour redresser un canal, servir de seuils et protéger les berges.

PHOTO 28: Digue d'interception déversant son eau dans un collecteur pluvial.

PHOTO 29: Digue de sacs de sable.

PHOTO 30: Tuyau à écoulement libre installé sur une pente sensible.

PHOTO 31: Tuyau à écoulement libre.

PHOTO 32: Natte de fibre de verre installée dans une tranchée.

PHOTO 33: Bassin d'urgence pendant la phase de défrichement.

PHOTO 34: Un bassin de sédimentation temporaire permet de protéger un cours d'eau des sédiments provenant de la route.

PHOTO 35: Ce lac, qui était à l'origine un bassin de sédimentation, constitue maintenant un site récréatif permanent.

PHOTO 36: Un flotteur en ethafoam fixé à une membrane.

PHOTO 37: Assemblage d'une barrière à limon sur la rive du lac Vernon.

PHOTO 38: Assemblage de panneaux de fabrène.

PHOTO 39: Barrière à limon installée autour du site de déblai pour la culée nord du pont.

PHOTO 40: Les sédiments sont confinés à l'intérieur de la zone délimitée par la barrière avant les travaux d'excavation pour la culée sud du pont.

PHOTO 41: Barrière à limon retenant efficacement les matières en suspension.

PHOTO 42: Barrière à limon performante malgré les courants et les vagues.

PHOTO 43: Embarcation traversant une membrane installée au lac Vernon.

NOTE:

La mention de certains produits ou marques de commerce ne doit pas être interprétée comme une recommandation ou un appui à l'égard de ces produits de la part du Service de l'environnement.

A) LES COUVERTURES PROTECTRICES DES SOLS

MESURES D'ATTÉNUATION:
A) COUVERTURES PROTECTRICES DES SOLS

GÉNÉRALITÉS

Parmi les principaux moyens utilisés pour protéger les sols contre l'érosion, les paillis et autres types de recouvrement protecteur sont sans doute les plus connus.

Ces couvertures protectrices peuvent être constituées de fibres naturelles ou synthétiques, de copeaux de bois, de foin, de papier recyclé, etc.

Cette méthode permet de diminuer l'impact des gouttes de pluie sur le sol et de le protéger efficacement contre la force d'entraînement du ruissellement. Elle est généralement utilisée pour fournir au sol une protection temporaire en attendant que s'implante une couverture végétale permanente.

Cette première section présente les mêmes caractéristiques que les principaux matériaux utilisés ainsi que les modalités d'installation de chacun des types de couvertures présentées.

LA COUVERTURE EXCELSIOR
(Excelsior blanket)

UTILISATION:

La couverture Excelsior est un recouvrement protecteur mis en place afin de favoriser l'établissement d'un couvert végétal aux endroits susceptibles d'être érodés. Ce produit paillé conserve son humidité au sol et sert d'isolant contre les rayons solaires. Il dissipe l'énergie de la pluie et réduit l'érosion causée par l'écoulement de surface. L'utilisation d'un tissage renforcé, le solide entrelacement des fibres et le fait que la couverture soit fixée au sol à l'aide de crampons métalliques rendent aussi ce produit résistant à un ruissellement concentré (voir photos 1 et 2). Il peut donc être utilisé aux endroits plus fragiles comme les fossés, les pentes abruptes, les sols dénudés ou facilement érodables, etc.

DESCRIPTION:

Ce produit, fabriqué à la machine, consiste en une natte de fibres de bois excelsior de huit pouces (20 cm) ou plus de longueur. Les fibres sont également distribuées sur toute la surface de la natte et l'épaisseur de cette dernière est uniforme. Le dessus de chacune des nattes est recouvert d'une toile de 3" X 1" (7,5 cm X 2,5 cm) constituée de papier Kraft torsadé ou d'un treillis de plastique biodégradable très absorbant. Ces nattes ne contiennent aucun additif chimique et elles sont disponibles en rouleaux de 3' X 150' (91 cm X 4572 cm) ou de 4' X 180' (122 cm X 5486 cm).

INSTALLATION:

Les critères généraux d'installation peuvent varier quelque peu en fonction des caractéristiques de la zone à protéger.

Il est d'ailleurs recommandé de consulter des spécialistes en protection des sols ou les représentants techniques du fabriquant avant de procéder à l'installation.

La couverture est généralement déroulée sur la surface à protéger puis agrafée au sol. Il est suggéré d'employer cinq agrafes ou crampons par six pieds linéaires (2 mètres) de couverture, c'est-à-dire deux de chaque côté et une au centre. Lorsque plusieurs d'une couverture sont nécessaires, celles-ci doivent être jointes bout à bout et solidement agrafées. Il convient aussi de s'assurer qu'elles sont disposées de façon à ce que la surface tissée soit vers le haut. Si elles sont utilisées sur un site où le ruissellement est concentré, elles doivent être étendues latéralement jusqu' à une hauteur qui est de plusieurs centimètres audessus du niveau maximal de ruissellement anticipé. Cette précaution permet de prévenir la formation de rigoles et de ruisselets en bordure de l'installation. Une plus grande efficacité est souvent obtenue si ces couvertures sont utilisées en association avec d'autres méthodes de prévention, dont les "nattes de retenue des sédiments".

Le coût de revient de cette méthode est très élevé et son efficacité pour protéger le sol est jugée moyenne.

POUR INFORMATION: PPS PACKAGING COMPANY
204, North 7th Street
Fowber, Ca. 93625
(Tél: (209) 834-1641)

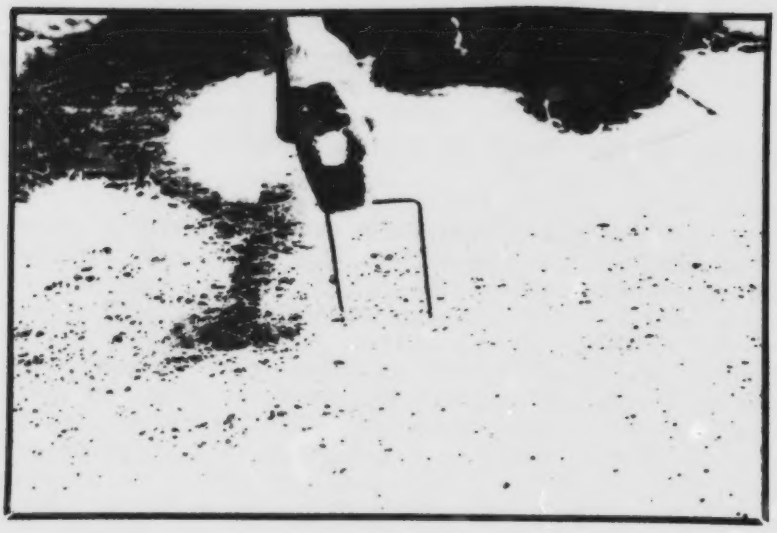


PHOTO 1: Couverture Excelsior et crampon

PHOTO 2: Installation de la couverture Excelsior et des crampons permettant une meilleure stabilisation sur le sol

NATTE DE FIBRE DE VERRE
(Fiber glass Matting)

UTILISATION:

Souvent utilisée comme "natte de retenue des sédiments" (voir photo 3), la natte de fibre de verre est aussi employée, entre autres, en aménagement paysager, comme filtre-séparateur entre la terre végétale et les couches filtrantes de gravier ou comme paillis pour les terres ensemencées. Seules les utilisations reliées au contrôle de l'érosion seront toutefois considérées dans la présente étude.

DESCRIPTION:

Cette natte est constituée de matières inorganiques inertes qui ne se décomposent pas et sont ininflammables. D'une épaisseur d'environ ½ pouce (1,25 cm), les nattes sont vendues sous forme de rouleaux d'une largeur variant de 2 à 6 pieds (60 à 180 cm) et d'une longueur de 100 à 150 pieds (30 à 45 m).

INSTALLATION:

Aux endroits où des "nattes de retenue des sédiments" sont prévues, une tranchée est creusée en travers du fossé ou de la pente à protéger. La natte est alors placée en forme de L, le côté le plus long soulevé, et agrafée solidement à la paroi verticale et au fond de la tranchée. Cette dernière est ensuite remplie de terre et pilonnée et la natte est coupée de façon à ce qu'elle soit au même niveau que la surface.

Lorsqu'une couverture protectrice est requise sur une longue période de temps, de concert avec de la végétation, les nattes de fibre de verre peuvent aussi être utilisées comme paillis. Elles sont alors installées de la même façon que la

couverture excelsior présentée précédemment (voir photo 3). Les nattes de fibre de verre adhèrent mal au sol, il faut donc s'assurer qu'elles sont bien agrafées.

Le coût de revient de ces nattes est très élevé et leur efficacité est jugée moyenne.

POUR INFORMATION: CERTAIN-TEED PRODUCTS CORPORATION
GUSTIN-BACON DIVISION
3050, Fairfield Road
Kansas City, Kansas 66115
(Ultracheck)

ou: PPG INDUSTRIES INC.
FIBER GLASS DIVISION
ONE GATEWAY CENTER
Pittsburgh, Pennsylvania 15222
(Topsoil Separator)

PHOTO 3: Natte de fibre de verre installée près d'un ponceau

GLASSROOT

UTILISATION:

Glassroot est un genre de paillis utilisé principalement sur les surfaces nouvellement ensemencées. Ce produit conserve bien l'humidité du sol, il agit comme isolant contre les rayons solaires, dissipe l'énergie de la pluie et réduit l'érosion causée par l'écoulement superficiel.

DESCRIPTION:

Glassroot est fait de fibres de verre entremêlées et son apparence ressemble aux "cheveux d'anges" utilisés pour les décorations de Noël. Ce produit est vendu en paquets de 35 livres (15,9 kg).

L'application de Glassroot sur le sol se fait à l'aide d'un réservoir de métal portatif muni d'une valve, d'un bec et d'un boyau de 50 pieds (15,2 mètres). Ce boyau est branché à un compresseur d'air permettant, lorsque le Glassroot est inséré dans le système, de propulser et de séparer les fibres qui sont alors éparpillées uniformément sur le sol (voir photo 4).

Ce matériau inorganique ne réagit pas et ne se décompose pas au contact de l'eau, des rayons solaires et des composés chimiques habituellement présents dans le sol.

INSTALLATION:

La quantité de Glassroot recommandée est de 35 livres par 150-200 verges carrées (15,9 kg / 125-167 m^2). Ce taux peut varier en fonction du lieu à protéger et de l'expérience de celui qui procède à l'application. Les fibres épousent bien chaque petite irrégularité du sol et ne nécessitent pas d'agrafage particulier.

Ce produit n'étant pas biodégradable, il devient partie intégrante du gazon et le renforce par le fait même (voir photos 5 et 6). Il est recommandé d'interdire toute circulation sur les surfaces recouvertes de Glassroot jusqu'à ce que le gazon soit bien implanté.

La forte capacité d'adhérence de ce produit le rend difficile à manipuler.

Le coût de revient du Glassroot est élevé mais ce produit est jugé très efficace pour contrer l'érosion.

POUR INFORMATION: PPG INDUSTRIES INC.
FIBER GLASS DIVISION
ONE GATEWAY CENTER
Pittsburgh, Pennsylvania 15222

PHOTO 4: Application de Glassroot

PHOTO 5: Surface traitée avec de la fibre de verre (Glass-root)

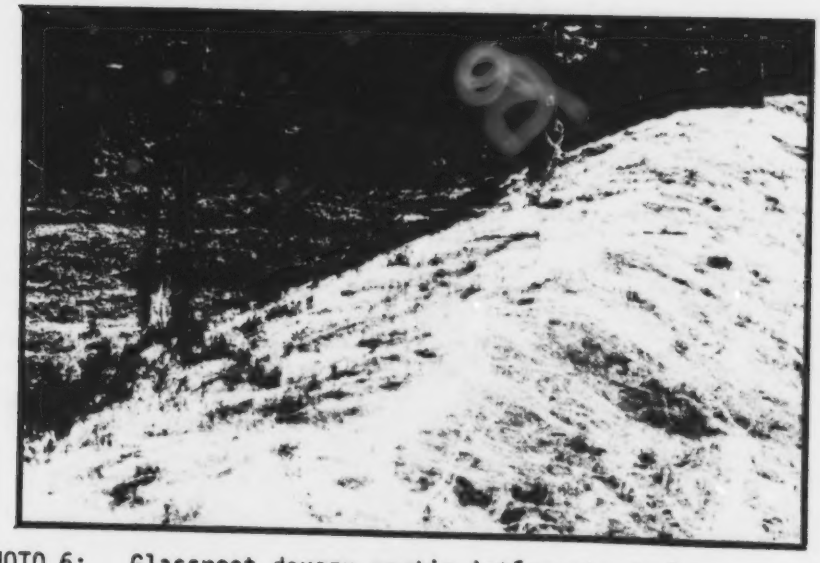


PHOTO 6: Glassroot devenu partie intégrante de la végétation

FILET DE JUTE
(Jute Netting)

UTILISATION: Les filets de jute sont utilisés afin de favoriser l'implantation de la végétation sur des surfaces particulièrement sujettes à l'érosion. Ce matériau conserve bien l'humidité du sol et sert d'isolant contre les rayons solaires. Il dissipe l'énergie de la pluie et réduit l'érosion causée par le ruissellement de surface. Les épais brins de jute et le tissage robuste qui caractérisent ces filets leur permettent de résister aux hautes vitesses d'écoulement qu'on retrouve dans les fossés, les canaux, etc.

DESCRIPTION: Les filets de jute sont de fabrication grossière et sont constitués de fibres brutes torsadées et tissées solidement (voir photo 7). Ces filets sont disponibles en rouleaux individuels de 225 pieds de longueur (69 m) par 4 pieds de largeur (1,22 m) et pèsent approximativement 90 livres (41 kg).

INSTALLATION: Les filets de jute sont installés après que le site ait été ensemencé avec les espèces désirées. L'ensemencement peut aussi être divisé de façon à ce qu'une partie ne soit semée qu'une fois les filets installés. Les critères généraux d'installation peuvent varier selon les caractéristiques du site. Les représentants techniques du fabriquant ou des spécialistes en protection des sols devraient être consultés avant l'installation. Il est recommandé de commencer à étendre un premier rouleau à partir du haut du fossé ou du canal vers le bas de façon à ce qu'une des deux bordures latérales de la bande coïncide avec le milieu du fossé (voir photo 8). Une

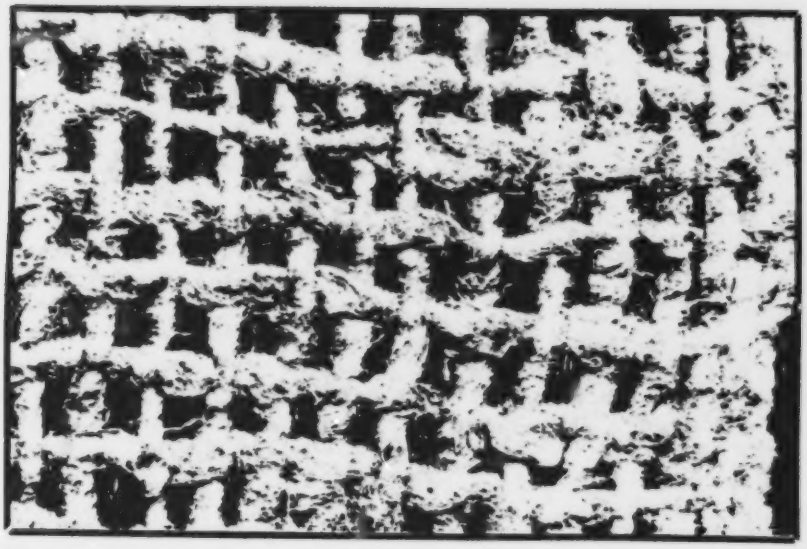


PHOTO 7: Filet de jute.

PHOTO 8: Installation d'un filet de jute.

seconde bande, parallèle à la première, est ensuite installée de l'autre côté en assurant une superposition de quelques centimètres des deux bandes. Si les rouleaux n'ont pas la longueur suffisante pour couvrir tout le canal, d'autres rouleaux sont alors étendus à la suite des premiers.

L'extrémité supérieure de chacun des filets doit être ensevelie dans une tranchée de 4 pouces ou plus (10 cm) de profondeur, puis recouverte de sol. Une rangée de crampons sont ensuite plantés à travers le jute à 10 pouces (25 cm) d'intervalle et à environ 4 pouces (10 cm) au bas de la tranchée afin de consolider l'installation. Les crampons maintenant en place les filets au centre du canal devraient, quant à eux, être espacés de 4 à 10 pieds (1,22 à 3 mètres). Une fois ces crampons installés, il convient de fixer les bordures externes de façon similaire. Il est toutefois recommandé de diminuer l'espacement des crampons aux endroits où un écoulement concentré est susceptible de se produire.

Lorsqu'il est nécessaire d'installer deux rouleaux l'un à la suite de l'autre, la fin du premier rouleau doit recouvrir d'au moins 4 pouces (10 cm) la tranchée sous laquelle est enfoui le début du second rouleau. Bien agrafer le tout. Si les extrémités et les bordures des bandes sont bien agrafées, les crampons du centre peuvent être espacés de 10 pieds (3 m) ou être omis complètement.

Le filet peut être plié pour être enfoui dans une tranchée, de la même façon que les extrémités supérieures des rouleaux à tous les endroits jugés nécessaires, afin d'assurer une meilleure prévention contre le ruissellement et l'érosion pouvant se produire sous l'installation.

Une fois l'installation complétée, un contact étroit entre les filets et le sol est assuré en passant un rouleau sur le site. Ceci permet d'éviter que l'eau ne ruisselle sous les filets au lieu de s'écouler sur ces derniers.

Les crampons recommandés ont la forme d'épingles à cheveux et ceux utilisés sont les n° 8 de 6, 8 et 10 pouces (15, 20, 25 cm) de long. Les crampons plus longs sont nécessaires dans les sols non cohésifs ou très humides. Les broches de métal sont plus efficaces que les tiges de bois car elles peuvent être enfoncées au même niveau que les filets. Les tiges de bois font, en effet, saillie au-dessus des filets et peuvent retenir des détritus susceptibles de faire dévier l'écoulement hors de la zone protégée par les filets. Ces tiges sont aussi susceptibles de créer de la turbulence.

L'utilisation simultanée des filets de jute avec d'autres méthodes complémentaires dont les "nattes de retenue des sédiments" ou les paillis végétaux (voir photo 9) est fortement recommandée.

Cette méthode est dispendieuse et son efficacité est considérée comme étant très bonne.

POUR INFORMATION: MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC
Cahier des charges et devis généraux

PHOTO 9: Filet de jute installé sur un paillis végétal

PAILLE OU FOIN
(Straw or Hay)

UTILISATION: La paille et le foin sont utilisés comme paillis pour protéger les surfaces nouvellement ensemencées contre l'énergie de la pluie et l'érosion superficielle. Les deux matériaux conservent bien l'humidité et protègent le sol des rayons solaires. On peut aussi les utiliser pour protéger temporairement les sols dénudés non encore ensemencés. Cette dernière utilisation n'est cependant valable que sur des périodes de temps relativement courtes ou en attendant la prochaine saison des semences.

DESCRIPTION: Habituellement, des brins de paille à petits grains non coupés et non altérés sont utilisés (surtout paille de blé). Quelquefois, on se sert de brins de foin.

INSTALLATION: La paille et le foin peuvent être appliqués de façon manuelle sur de petites surfaces à l'aide d'un équipement souffleur sur les plus grandes zones (voir photos 10 et 11). Le taux d'application est de 1 à 2 tonnes à l'acre (2,2 à 4,5 tonnes mériques par hectare). Un liant devrait être utilisé de concert avec le paillis afin d'éviter les pertes dues au vent et à l'eau. L'asphalte. liquide ou émulsifiée est la méthode* la plus utilisée à cet effet (voir photo 12) Il existe cependant d'autres produits et méthodes (filet, etc.) pouvant être utilisés avec succès. Ainsi, une série de disques encochés peuvent être employés pour écraser et fixer le paillis au sol.

---

* Cette méthode n'est cependant pas recommandée à cause des problèmes environnementaux et autres qui y sont reliés.

Ce dernier doit être humide, libre de pierres et suffisamment meuble pour permettre une pénétration de 2 à 3 pouces (5 à 7,5 cm) des disques dans le sol.

Le coût d'utilisation de la paille et du foin est peu élevé et l'efficacité de cette méthode est jugée moyenne.

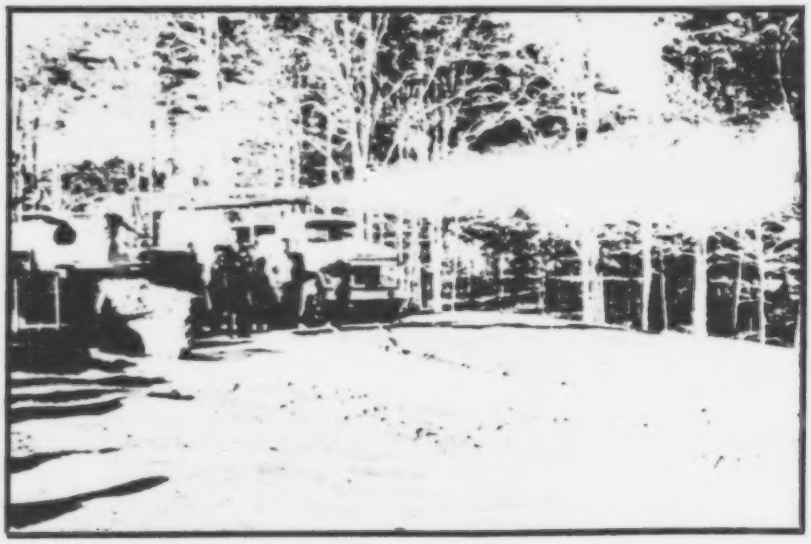


PHOTO 10: Un puissant souffleur éjecte la paille sur une surface à protéger

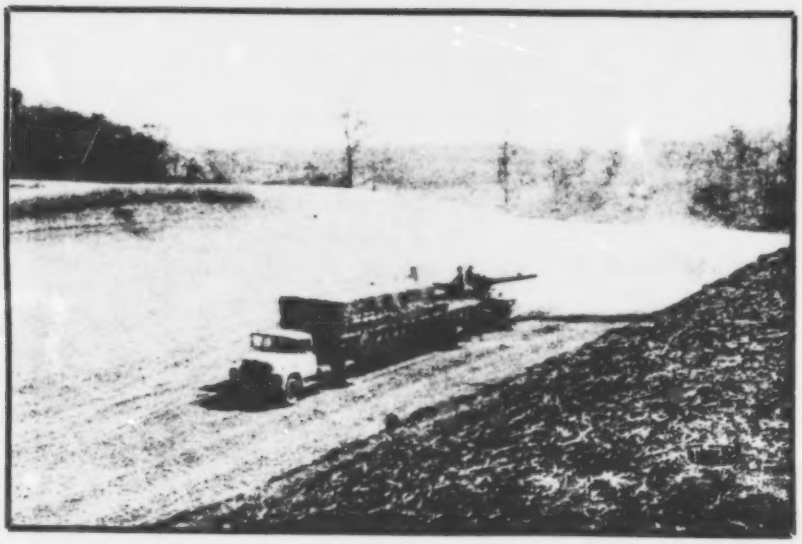


PHOTO 11: Épandage de paille sur une grande échelle.

PHOTO 12: Application d'asphalte liquide afin d'agglomérer le paillis

COPEAUX DE BOIS
(Woodchips)

UTILISATION: Les copeaux de bois sont utilisés afin de contrôler l'érosion de façon temporaire sur des sols dénudés et non ensemencés. Ils peuvent aussi servir de paillis protecteur sur les surfaces fraîchement semées. Les copeaux conservent l'humidité du sol, dissipent l'énergie de la pluie, réduisent l'érosion hydrique et servent d'isolant contre les rayons solaires intenses (voir photo 13).

DESCRIPTION: Ce matériau provient de la transformation en copeaux des troncs, des racines et des branches des arbres dans des machines à découper le bois. Une fois découpés, les copeaux sont soit soufflés dans des camions pour usage futur ou rejetés directement sur le terrain.

INSTALLATION: Lorsqu'ils sont utilisés temporairement sur des surfaces ensemencées, les copeaux peuvent être disposés manuellement ou à l'aide de souffleurs. Les taux d'application sont de 4 à 6 pieds^3 de copeaux par 100 pieds^2 (0,1 à 0,17 m^3 par 9,3 m^2), pour protéger un sol nu dans des conditions normales. Si une circulation importante (à pied ou avec de la machinerie) est prévue, il est conseillé d'ajouter des copeaux aux endroits plus fragiles jusqu'à ce qu'ils atteignent plusieurs centimètres d'épaisseur.

Si les copeaux sont utilisés pour protéger une surface fraîchement semée, les quantités nécessaires varient alors de 60 à 100 verges^3 par acre (114,7 à 191,1 m^3 à l'hectare).

Les paillis de copeaux sont particulièrement efficaces pour protéger les semences faites à la fin de l'automne.

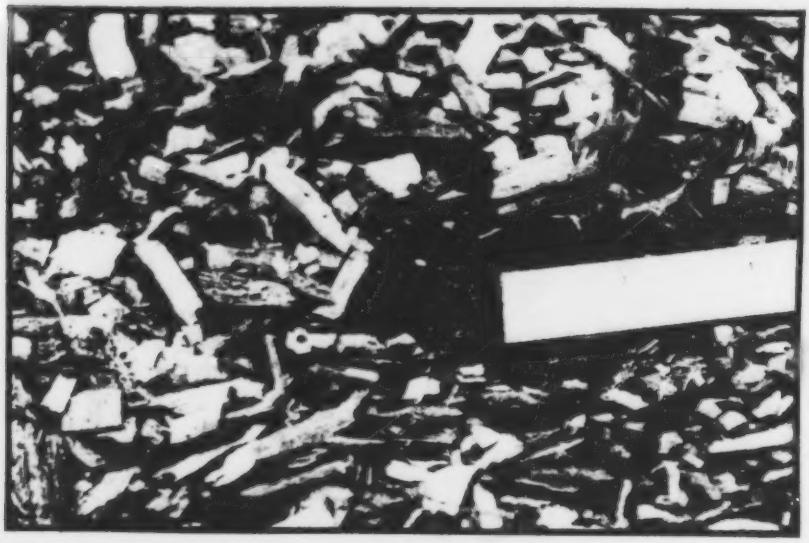


PHOTO 13: Copeaux de bois

Il semble cependant que la présence de copeaux puisse nuire à la croissance de la végétation.

Le coût de revient de cette méthode est jugé moyen et son efficacité varie selon l'utilisation. Ainsi, lorsqu'elle est utilisée pour protéger les surfaces à nu, son efficacité est jugée comme étant très bonne. Par contre, cette efficacité est faible lorsque les copeaux servent de paillis protecteur sur une surface semée.

ERO-MAT ET ERO-MAT PLUS

UTILISATION:

Ces deux produits servent à prévenir l'érosion du sol et la formation de rigoles. Ils peuvent être utilisés comme paillis pour la protection des semences. Les deux retiennent l'humidité du sol, contrôlent le ruissellement, protègent des températures extrêmes et ne constituent pas un obstacle à la croissance de la végétation. Ero-Mat Plus peut aussi être utilisé comme clôture filtrante.

DESCRIPTION:

Ero-Mat et Ero-Mat Plus sont constitués d'un tricot qui relie la paille à un filet de plastique léger et biodégradable. Ce matériau est vendu en rouleaux d'un ou deux mètres de largeur et peut être utilisé pendant deux saisons consécutives de culture.

Ero-Mat a environ 0,8 pouces (2 cm) d'épaisseur tandis que Ero-Mat Plus a une épaisseur de près de 4,8 pouces (12 cm).

INSTALLATION:

Les deux produits peuvent être installés sur des pentes, des talus ou des fonds de canalisation. Le sol doit être préparé et ensemencé. Il est à noter que les semences peuvent aussi être jetées au travers du paillis à la fin de l'hiver ou lorsque les travaux sont terminés.

Le matériau doit être déroulé de façon à ce que la paille soit en contact avec le sol et que le filet de plastique soit sur le dessus. Dans les fossés, Ero-Mat doit être placé parallèlement à la ligne centrale de ce dernier et agrafé solidement.

Il est possible d'attacher Ero-Mat Plus sur une clôture de broche afin de créer une bande filtrante qui intercepte les sédiments.

Le coût de revient de ces nattes est jugé moyen de même que leur efficacité.

POUR INFORMATION:

LES ENTREPRISES BENOLEC LTEE
2420, de la Province
Longueuil (Québec)
J4G 1G1
Tél.: (514) 651-5151

VERDYOL
Route rurale no 1
Cookstown (Ontario)
LOL 1LO
Tél.: (705) 458-9601

BENO-VERT

UTILISATION:

Beno-Vert est un paillis de fibres de cellulose de bois ne contenant aucun contaminant. Il retient l'humidité du sol et permet une germination plus rapide. Il agit en tant qu'agent isolant contre les changements brusques de température. Conçu expressément pour les ensemencements hydrauliques, il peut être utilisé dans les endroits difficiles d'accès (talus à pente raide,...).

DESCRIPTION:

Ce produit est fabriqué à partir de journaux recyclés. Coloré en vert, il permet, entre autres, un meilleur contrôle d'uniformité lors de l'application. Ce produit est biodégradable et il disparait une fois la végétation implantée. Ses matières organiques contribuent de plus à la fertilisation du sol.

INSTALLATION:

Spécialement conçu pour un ensemencement hydraulique, le paillis est appliqué en une seule opération. Le mélange des composantes (Beno-vert, fertilisants, semences, ...) se fait dans le réservoir même de l'hydrosemoir.

Il est recommandé d'utiliser de 55 à 65 kg de Beno-Vert pour 1 000 litres d'eau. 1400 kilos permettront de couvrir approximativement 1 hectare, dépendamment du type de sol et de la pente du terrain.

POUR INFORMATION:

LES ENTREPRISES BENOLEC LTEE
2420, de la Province
Longueuil (Québec)
J4G 1G1
Tél.: (514) 651-5151
527-2405

PAILLIS EN FIBRES DE BOIS
(Wood fiber mulch)

UTILISATION:

Le paillis en fibres de bois est spécialement conçu pour être appliqué de façon hydraulique et favoriser la poussée de gazon ou autre couvre-sol semé ou planté sur un site donné.

Ce type de paillis conserve l'humidité du sol, sert d'isolant contre les rayons solaires intenses et dissipe l'énergie de la pluie.

DESCRIPTION:

Ce matériau est constitué de petites fibres naturelles provenant de copeaux de bois nettoyés. Une teinture non toxique est utilisée afin de colorer le paillis en vert.

Les fibres sont mélangées à de l'eau qu'on agite sans cesse pour une meilleure dispersion, puis sont appliquées uniformément sur le sol. Elles forment alors un couvert absorbant qui laisse percoler l'eau vers le sol.

Les fibres de bois possèdent les propriétés suivantes:

Propriété	Valeur nominale
Contenu en eau	9 à 12 % ± 3,0 %
Matières organiques (à sec)	99,2 à 99,6 % + 0,2 %
Contenu en cendres	0,4 à 0,8 % ∓ 0,2 %
Capacité de rétention d'eau (grammes d'eau/100 grammes de fibres)	1,080 - 1,150 g

Les fibres de bois ne contiennent aucun germicide ou agent inhibiteur de croissance. Des semences, de la chaux ou des fertilisants peuvent être incorporés avec

les fibres dans l'hydrosemoir lors de l'application sur le sol (voir photo 14).

Les fibres sont disponibles en paquets de 50 livres (23 kg).

INSTALLATION: Les fibres peuvent être appliquées avec un hydrosemoir à raison de 1000 à 1500 livres par acre (1135 à 1700 kg à l'hectare).

Elles sont ajoutées dans le réservoir de mélange une fois que les proportions désirées de semences et de fertilisants y ont été introduites.

POUR INFORMATION: WEYERHAEUSER SYLVA FIBER
WEYERHAEUSER COMPANY
Fiber Products Department
Tacoma, Washington 98477

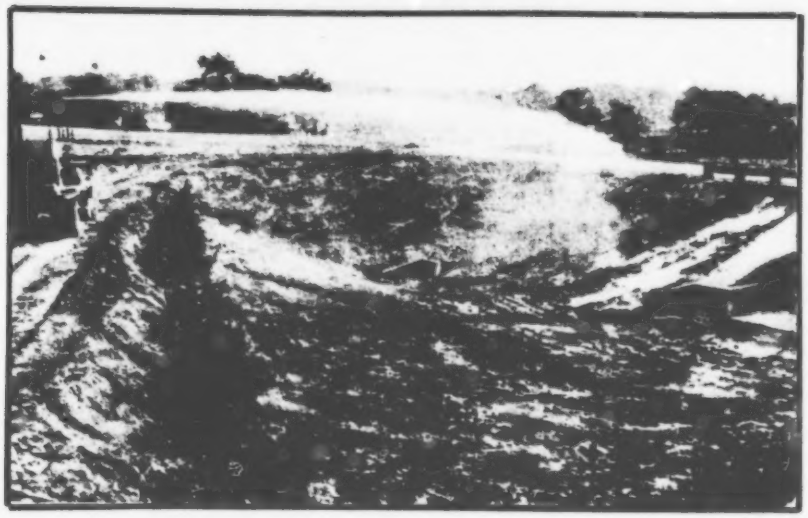


PHOTO 14: Application de fibres de bois à l'aide d'un hydrosemoir calibré

B) LES STABILISANTS CHIMIQUES

MESURES D'ATTÉNUATION:
B) LES STABILISANTS CHIMIQUES

GÉNÉRALITÉS

Les méthodes chimiques sont généralement utilisées pour protéger les sols de façon temporaire en attendant l'implantation d'un couvert végétal permanent.

L'application de ces produits nécessite l'utilisation d'un équipement vaporisateur approprié. Il faut généralement attendre les périodes sans gel avant de pouvoir les utiliser de façon adéquate.

Les photos 15, 16 et 17 permettent de visualiser trois exemples d'application de stabilisants chimiques.

PHOTO 15: Un liant chimique est appliqué sur une surface dénudé qui sera ensemencée à une date ultérieure

PHOTO 16: Liant chimique appliqué sur un paillis végétal

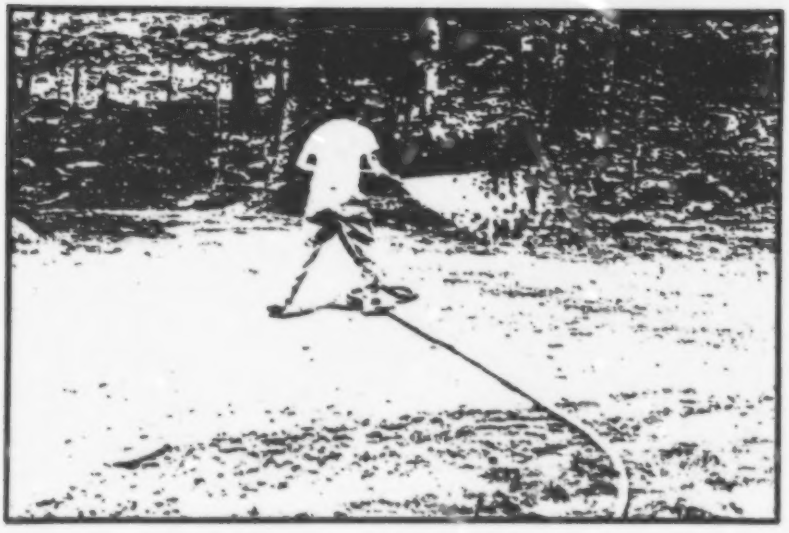


PHOTO 17: Paillis chimique appliqué simultanément avec de la chaux, des fertilisants et des semences

LIANT AEROSPRAY 52
(Aérospray 52 Binder)

DESCRIPTION:

AEROSPRAY 52 est une émulsion alkyde visqueuse de couleur laiteuse, diluable à l'eau.

Ce produit alcalin (pH 8-9) n'est aucunement toxique.

UTILISATION(S):

-Stabilisant temporaire du sol:

Ce produit confère au sol une résistance accrue à l'érosion hydrique en pénétrant et en agglomérant les particules de sol en une masse cohérente.

-Paillis chimique:

Il agit de même façon sur les surfaces semées tout en permettant à l'eau et à l'air de continuer à circuler dans le sol.

APPLICATION:

Plusieurs rapports de dilution et taux d'application ont été développés pour ce produit et il est recommandé de suivre les directives du manufacturier lors de l'application afin d'obenir un rendement optimal.

Ainsi, sur des pentes fortement inclinées AEROSPRAY 52 devrait être utilisé sous forme très concentrée au taux de 1 gallon par 100 pieds carrés (3,8 litres par 9,3 m^2). Lorsqu'il est utilisé sur un sol ensemencé, il peut être appliqué à un taux de 30-45 gallons de produit concentré à l'acre (285-425 litres à l'hectare) en proportion de dilution pouvant atteindre jusqu'à 10 parties d'eau pour 1 partie de produit.

Ce produit peut être appliqué à l'aide d'un équipement semblable à celui utilisé pour l'application de fertilisants liquides, d'eau ou de goudron. Il peut aussi être appliqué sur les plus petites surfaces à l'aide d'un vaporisateur manuel.

TEMPS DE PRISE: Sèche en 4 heures à 90°F (32°C) et en 8 heures à 60°F (15,5°C) avec une humidité relative de 50 %.

LIMITES D'APPLICATION:
-Tout sol;
-Si la température est sous le point de congélation, il gèlera avant de sécher; Le gel n'endommage toutefois pas le produit;

POUR INFORMATION:
CYANAMID CANADA INC.
19400, aut. Transcanada
Baie d'Urfé
H9X 3N7
Tél.: (514) 457-2110

CURASOL AH

DESCRIPTION: CURASOL AH est une dispersion de résine synthétique à macropolymères, de couleur laiteuse. Ce produit acide (pH 4-5) n'est pas toxique, il est diluable à l'eau et ne constitue aucun danger pour la végétation.

UTILISATION(S):

-Stabilisant temporaire du sol

Agglomère de façon temporaire les particules du sol dans des zones dénudées afin de réduire l'érosion hydrique. Ce produit est spécialement conçu pour être utilisé lors des périodes de risques de gel ou sur des sites stabilisés soumis à une certaine circulation.

-Liant pour paillis:

Agglomère les fibres des paillis naturels afin de réduire les pertes causées par le vent et la pluie.

APPLICATION:

-Liant pour paillis (paille)

Si une souffleuse à paillis est utilisée, un mélange avec des proportions de 30 à 45 gallons de CURASOL AH pour 150 à 300 gallons d'eau est généralement requis pour couvrir un acre de terrain (285-425 litres de produit pour 1420-2840 litres d'eau, pour couvrir un hectare). Une plus grande quantité d'eau est nécessaire si un hydrosemoir est utilisé, soit 300 à 500 gallons par acre (2840-4730 litres à l'hectare).

-Liant pour paillis (foin)

.Si du foin est utilisé et qu'il est épandu à l'aide d'une souffleuse ou d'un hydrosemoir, la quantité de produit doit être diminuée de 33 %. Les proportions d'eau demeurent les mêmes que précédemment.

TEMPS DE PRISE: Varie de 1 à 6 heures après l'application dépendamment des conditions météorologiques.

LIMITES D'APPLICATION:
-Tout sol;
-Gèle à 23°F (-5°C);
-Peut être appliqué à des températures au-dessus de 41°F (5°C);
-Peut être entreposé, sous des conditions normales, pendant 6 mois;
-Ne pas exposer à la chaleur ou au soleil;
-Protéger du gel;

POUR INFORMATION:
HOESCHT CANADA
4045, Côte Vertu
Montréal (Québec)
Tél.: (514) 333-3500

ÉMULSION ASPHALTIQUE

DESCRIPTION: L'élément de base de ce produit est un ciment d'asphalte. Il peut être dispersé ou en suspension dans de l'eau ou divers autres solvants.

UTILISATION(S): -Liant pour paillis

Agglomère les fibres végétales et permet de réduire les pertes causées par le vent ou par la pluie.

-Paillis chimique

Agglomère partiellement le sol de surface afin de réduire l'érosion et les pertes par évaporation. Favorise le développement d'un couvert végétal permanent.

APPLICATION: Lorsqu'il est utilisé comme paillis chimique, l'asphalte liquide peut être vaporisé au taux de 0,15 à 0,30 gallon par verge carrée (0,68 a 1,4 litre par mètre carré) dépendamment des caractéristiques du sol et de la pente.

En tant que liant pour paillis, un taux de 0,1 gallon d'asphalte liquide par verge carrée doit être utilisé (0,45 litre par mètre carré) tandis que 0,04 gallon par verge carré (0,2 litre par mètre carré) est recommandé dans le cas de l'émulsion asphaltique.

Ce produit peut être appliqué à l'aide d'un vaporisateur manuel ou avec un camion distributeur d'asphalte équipé en conséquence.

TEMPS DE PRISE: Varie selon le type d'asphalte et les conditions météorologiques, mais est habituellement de 24 heures.

LIMITES
D'APPLICATION:

-Tout sol;
-Demeure "collant" tant qu'il n'est pas totalement pris;
-Nécessite des précautions spéciales afin que le matériel ne soit pas entraîné au-delà de la surface traitée;
-Très polluant, non recommandé;

POUR INFORMATION:

Cahier des charges et devis généraux
Ministère des Transports du Québec

Compagnies d'asphalte

TERRA-TACK

DESCRIPTION: Terra-Tack est un produit chimique fortement concentré, diluable à l'eau. Il est vendu sous forme de poudre et forme un épais liquide vert lorsque mélangé avec de l'eau.

UTILISATION(S): -Paillis chimique

Utilisé comme paillis chimique, il permet d'agglomérer partiellement le sol de surface afin de réduire l'érosion et les pertes par évaporation. Il favorise l'implantation d'un couvert végétal permanent.

-Liant pour paillis

Agglomère les fibres naturelles pour réduire les pertes causées par le vent et par la pluie.

APPLICATION: Si on applique celui-ci simultanément avec de l'eau et des semences, il est recommandé de mélanger 50 livres de Terra-Tack à 2 000 gallons d'eau pour couvrir 1 acre (58 kg de produit dans 19 000 litres d'eau permettent de couvrir 1 hectare).

Pour une application sèche en combinaison avec des semences, 86 livres par acre sont recommandées (98 kg/hectare). Lorsque Terra-Tack est utilisé comme liant pour les paillis de fibres longues (paille, foin), un mélange de 1 partie du produit pour 20 parties d'eau est recommandé. Le taux d'application est alors de 1 000 gallons à l'acre (9464 litres par hectare).

Dans les cas de paillis constitués de fibres courtes (fibres de bois, ...) un

rapport de 1:40 est recommandé et le taux d'application est de 2 000 gallons à l'acre (18 927 litres/hectare).

Un hydrosemoir calibré utilisé pour les semences et les engrais peut être employé pour l'application de ce produit lorsqu'il est mélangé avec de l'eau tandis qu'un épandeur à engrais ou à chaux convient lorsque Terra tack est utilisé sous forme de poudre.

TEMPS DE PRISE: Aucune information concernant le temps de prise n'est présentement disponible. Il est cependant recommandé de procéder à l'application sur un sol sec au moins 2 heures avant le coucher du soleil ou une pluie.

LIMITES D'APPLICATION:

- -Sols secs et poreux;
- -éviter tout contact avec la peau et les yeux;
- -Eviter de respirer la poussière ou les embruns de la solution lorsque cette dernière est vaporisée;
- -ne se conserve que quelques heures une fois mélangé avec l'eau;
- -il est recommandé de se laver après avoir utilisé Terra Tack.

POUR INFORMATION: GRASS GROWERS INC.
P.O. Box 584
Plainfield, New Jersey 07061

C) LES OUVRAGES DE CONTROLE DU RUISSELLEMENT

MESURES D'ATTÉNUATION:
C) LES OUVRAGES DE CONTROLE DU RUISSELLEMENT

GÉNÉRALITÉS

Cette section traite de façon plus particulière des processus de transport des sédiments, alors que précédemment, les mesures de contrôle présentées influaient surtout au niveau du processus de détachement des particules. Les méthodes présentées dans les deux sections précédentes permettaient, en effet, de limiter les quantités de sédiments susceptibles d'être érodés en protégeant le sol de façon adéquate contre l'impact des gouttes de pluie, le ruissellement et le vent.

Malgré ces mesures de protection, une certaine érosion doit toujours être prévue et la mise en place d'ouvrages permettant d'intercepter et de dévier le ruissellement vers des sites stabilisés doit être envisagée. Cette troisième section présente de nombreux ouvrages pouvant être utilisés à cet effet.

SEUILS
(Check dams)

DÉFINITION: Un seuil est un ouvrage construit perpendiculairement à un fossé ou à un canal afin de stabiliser la vitesse de l'écoulement et de minimiser l'érosion régressive de tête.

OBJECTIFS: Les seuils permettent de prévenir ou de réduire l'érosion en diminuant les vitesses d'écoulement des cours d'eau, en consolidant certaines sections de canal ou en fournissant des ouvrages présentant une meilleure résistance à de grandes vitesses d'écoulement.

Cet ouvrage est particulièrement utilisé aux endroits où les vitesses d'écoulement sont très grandes et où la capacité de contrôle de ces vitesses par le sol et la végétation est dépassée et où on retrouve des cascades ou de petites chutes.

CONSTRUCTION: Une conception approuvée est généralement requise.

a) Les seuils peuvent être faits de métal, de roches, de gabions, de bois, etc. (voir photos 18 et 19).

b) L'ouvrage devrait être mis en place dans une section relativement droite du canal. Une attention particulière devrait être apportée aux effets que les nouveaux niveaux hydrauliques sont susceptibles d'avoir sur les caractéristiques naturelles ou anthropiques du site.

c) Le site, l'état du substrat et des considérations esthétiques constituent des facteurs importants dans le choix des matériaux de construction.

d) La vitesse d'écoulement prévue dans le canal en amont et en aval de l'ouvrage devrait être analysée afin de déterminer s'il est susceptible de se produire des problèmes d'érosion ou de sédimentation.

ENTRETIEN: Habituellement pas nécessaire.

PHOTO 18: Seuils constitués de gabions et de roches

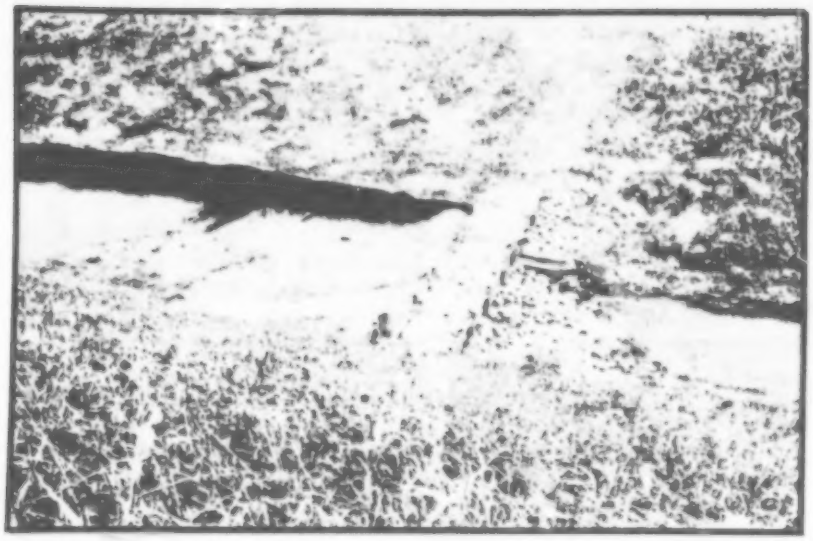


PHOTO 19: Seuil construit de roches et de bois

CANAL D'AMENÉE D'EAU (Chutes/flumes)

DÉFINITION:

Les canaux d'amenée d'eau sont des ouvrages à écoulement libre faits de béton ou d'un matériau similaire et conçus afin de permettre l'écoulement du ruissellement vers le bas d'une pente sans entraîner d'érosion (photo 20).

OBJECTIFS:

Ces canaux favorisent l'écoulement des eaux de pluie d'un point à un autre sans entraîner d'érosion sur la pente (voir figure A-1).

Ils sont utilisés de façon temporaire ou permanente sur les pentes susceptibles d'être érodées.

CONSTRUCTION:

Une conception approuvée est généralement requise afin de bien calibrer l'ouvrage.

Le canal doit être mis en place sur un sol non perturbé ou sur un remblai bien compacté. La pente maximale ne devra pas dépasser 1,5:1 sans être inférieure à 20:1. Il convient de s'assurer que l'orifice supérieur du canal ne soit pas plus élevé que les niveaux des différentes structures (bermes, etc.) qui amènent l'écoulement de surface vers celui-ci.

Il est aussi recommandé d'intégrer des dissipateurs d'énergie dans tout le canal ou à la sortie seulement, au bas de la pente, pour diminuer la vitesse d'écoulement et réduire les risques d'érosion (voir photo 21). De plus, le canal d'amenée d'eau doit être construit de façon à ce que l'eau de ruissellement soit dirigée vers une zone stabilisée. La pente vers le canal devrait être de 2 à 10 %.

PHOTO 20: Canal d'amenée d'eau en béton

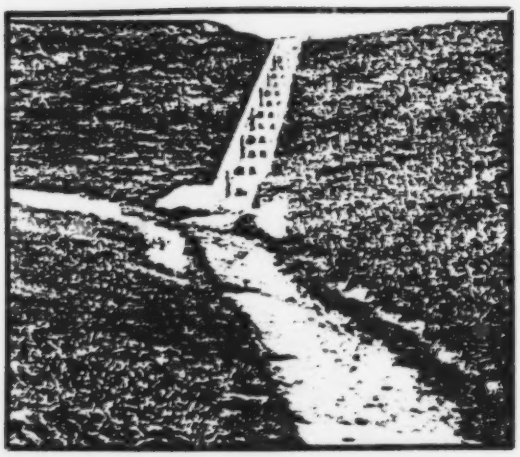


PHOTO 21: Canal muni de dissipateurs d'énergie

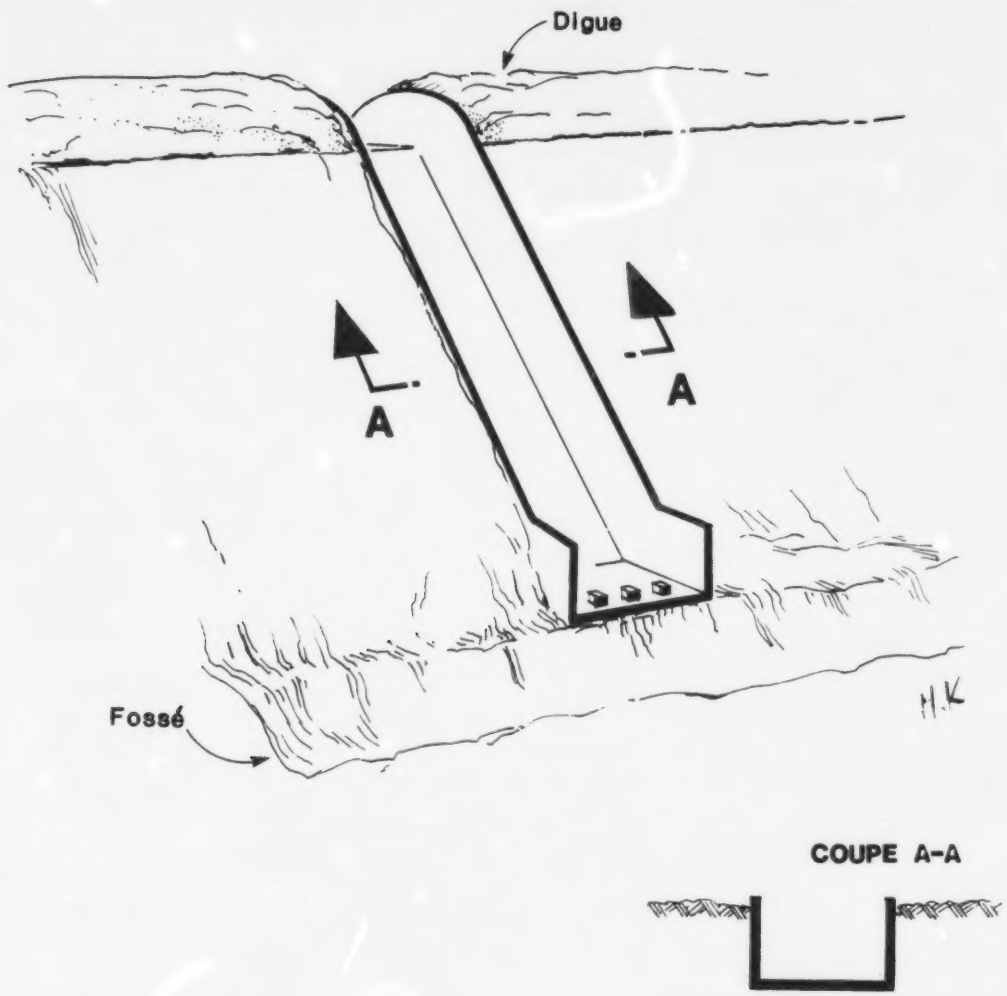


FIGURE A-1: CROQUIS D'UN CANAL D'AMENÉE D'EAU

ENTRETIEN: Une inspection devrait être effectuée après chaque orage si la structure est temporaire. Il convient aussi de rechercher les signes de faiblesse à l'interface de l'entrée du canal et des bermes d'amenée d'eau.

REMBLAI DE DÉRIVATION
(Diversion dike)

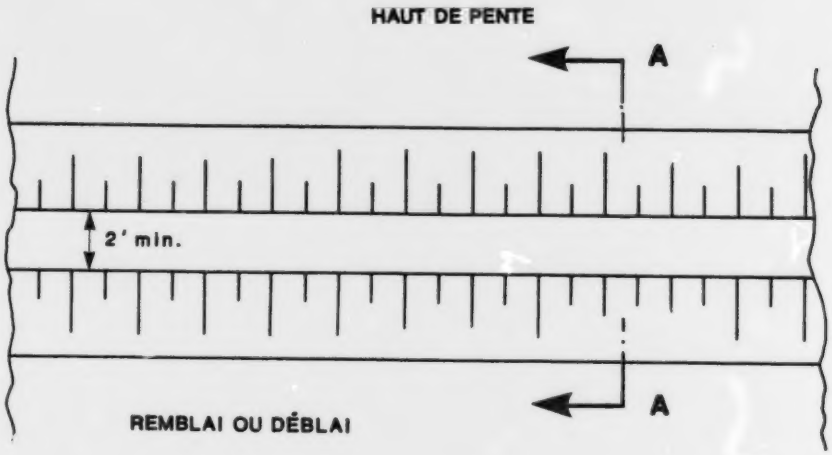
DÉFINITION: Un remblai de dérivation est une crête de sol installée temporairement au sommet d'un talus de déblai ou de remblai (voir figures A-2 et A-3).

OBJECTIFS: Les remblais de dérivation permettent de dévier l'écoulement superficiel de zones de petite superficie vers des surfaces stabilisées.

Un tel remblai est souvent mis en place au sommet d'un versant récemment aménagé (voir photo 22).

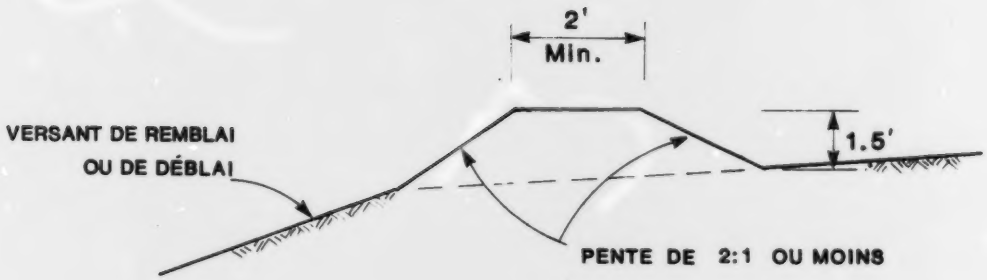
CONSTRUCTION: Il n'est pas toujours nécessaire d'avoir une conception approuvée.

CRITÈRES GÉNÉRAUX:
Hauteur: 1,5 pieds (0,46 m)
Largeur au sommet: 2 pieds (0,61 m)
Pentes latérales: 2:1 ou moins
Compaction: 85 % de la densité standard
Niveau: Dépend de la topographie, doit être positif. Des niveaux excessifs peuvent nécessiter des mesures de stabilisation supplémentaires.
Autres: Dans les zones boisées où l'accès au sommet de la pente est limité, un remblai de dérivation peut être construit à l'aide d'un tracteur, qui remonte la pente avec de la terre, qu'il déverse au sommet pour former une crête. Il n'est pas nécessaire que le niveau de compaction mentionné précédemment soit respecté dans ce cas (voir photo 23).



L'exutoire donne sur une surface stabilisée

FIGURE A-2 : VUE EN PLAN D'UN REMBLAI DE DÉRIVATION



COUPE A-A

FIGURE A-3 : COUPE TRANSVERSALE D'UN REMBLAI DE DÉRIVATION

PHOTO 22: Remblai de dérivation au sommet d'une pente

PHOTO 23: Remblai de dérivation construit par un tracteur qui a gratté le sol de bas en haut, laissant une crête de sol au sommet

ENTRETIEN: Inspecter après chaque averse afin de localiser les endroits endommagés. Les réparations devront être complétées avant le prochain orage afin d'éviter la formation de ruissellement concentré sur la pente dénudée.

DIGUE OU BERME FILTRANTE
(Filter Berm)

DÉFINITION: Une berme filtrante est une crête temporaire de gravier ou de pierres concassées construite en travers d'une emprise nivelée (voir photo 24).

OBJECTIFS: Les bermes filtrantes retiennent les sédiments sur place en retardant et en filtrant le ruissellement tout en permettant aux camions et autres véhicules de circuler le long de l'emprise. Ces ouvrages sont donc particulièrement utilisés aux endroits où une certaine circulation doit être maintenue pendant la construction. Les bermes peuvent également être utilisées dans les fossés de drainage avant que la route ne soit pavée et le couvert végétal implanté.

CONSTRUCTION: Une conception approuvée n'est pas requise.

CRITÈRES GÉNÉRAUX: Les dimensions minimales recommandées pour une installation sur une emprise nivelée sont les suivantes:

Hauteur: 1,5 à 2 pieds (0,46 m, 0,61 m)
Elévation de surface uniforme.
Largeur au sommet: 3 à 5 pieds (0,91 à 1,5 m)
Pentes latérales: 3:1 ou moins
Espacement: 200 à 300 pieds (61 à 91 m)
Un plus petit espacement est recommandé sur les pentes plus abruptes.
Matériaux: Gravier grossier de 3/4 " à 3" (2 à 7,6 cm) bien trié ou pierre concassée. Le pourcentage de matières fines ne doit pas excéder 5 %.

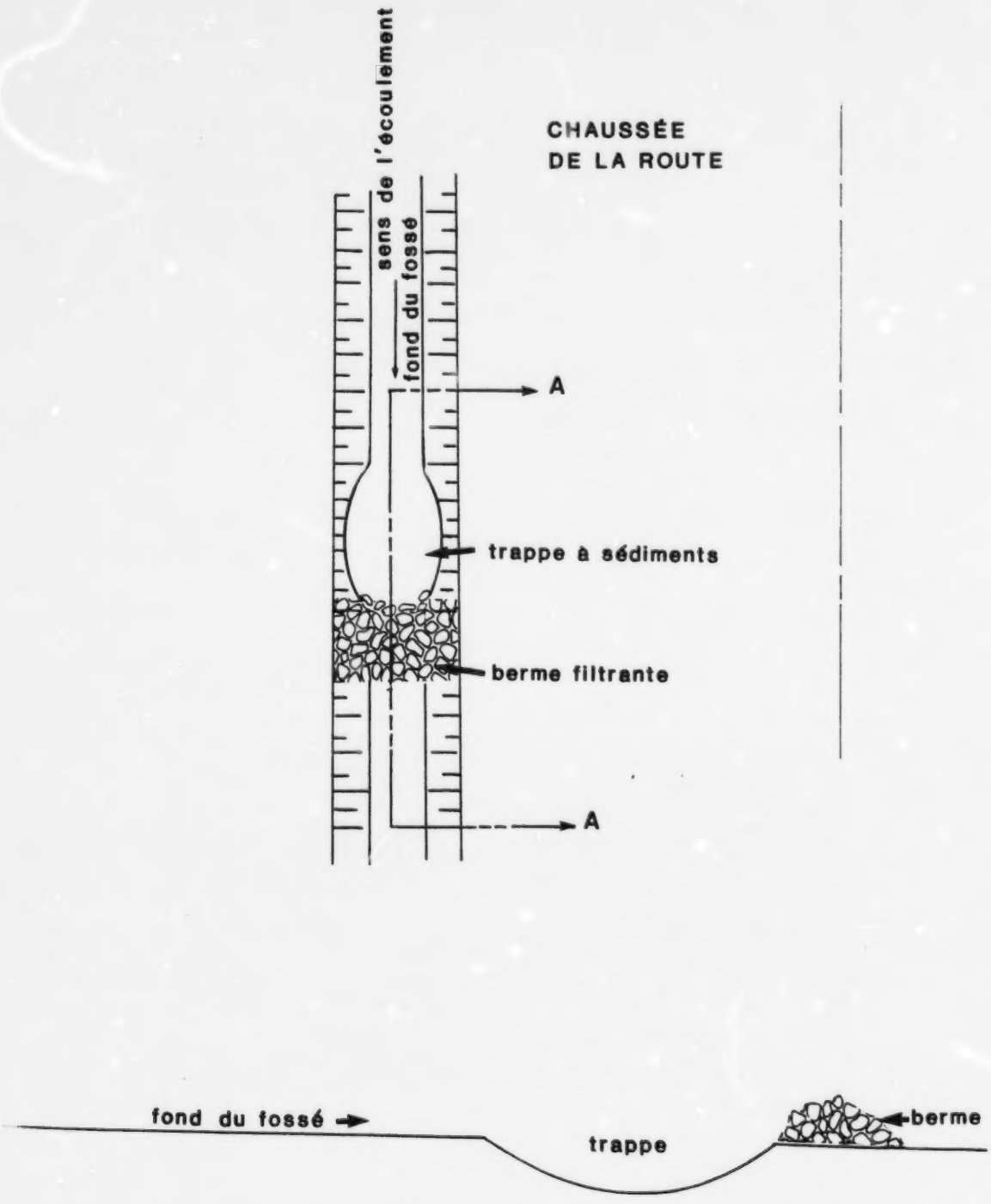


FIGURE A-4 BERME FILTRANTE ET TRAPPE A SÉDIMENTS INSTALLÉES DANS UN FOSSÉ DE ROUTE

Les bermes filtrantes sont généralement construites de concert avec les trappes à sédiments (voir section des bassins de sédimentation). Ces dernières, qui sont situées en amont des bermes, permettent de retenir les sédiments filtrés par la digue (voir figure A-4).

Les dimensions de la trappe à sédiments, qui consiste, en fait, en une cavité creusée à même le fossé de la route, varient selon l'espace disponible à l'endroit visé.

ENTRETIEN: Enlèvement des sédiments retenus dans le bassin et nettoyage ou remplacement des matériaux filtrants après chaque orage.

PHOTO 24: Berme filtrante opérationnelle .

TUYAU FLEXIBLE
(Flexible downdrain)

DÉFINITION: Un tuyau flexible est une conduite souple faite de tissu ou d'un autre matériau très résistant et terminée par deux sections métalliques (voir figures A-5, A-6 et A-7).

OBJECTIFS: Les tuyaux flexibles permettent de canaliser le ruissellement vers le bas d'une pente sans entraîner d'érosion.

INSTALLATION: Une conception approuvée n'est pas requise.

Pose: Sur des sols non perturbés ou des remblais bien compactés.

Diamètre: Doit être d'un diamètre suffisant pour canaliser le ruissellement maximum prévu durant la durée de vie du tuyau.

Extrémités: Métalliques. La dénivellation du tuyau devrait être d'au moins 1/2" par pied (1,3 cm par 30 cm). Il est recommandé de bien disposer et compacter le sol autour de l'entrée du tuyau flexible afin de prévenir tout bris de la conduite près de l'extrémité métallique et du collet extensible.

Collets extensibles: Tuyaux de métal ondulé de 12" de longueur (30 cm). Ne pas utiliser de tuyau hélicoïdal.

Courroies de retenue: Faites de tissu, de métal, ... Elles sont placées dans au moins une des ondulations du collet.

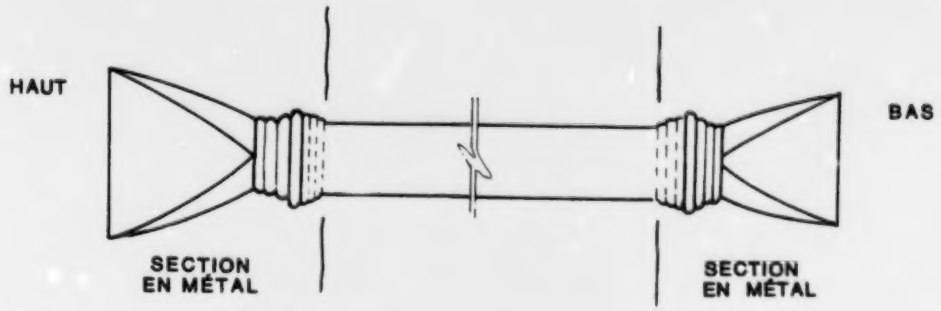


FIGURE A-5: TUYAU FLEXIBLE (vue en plan)

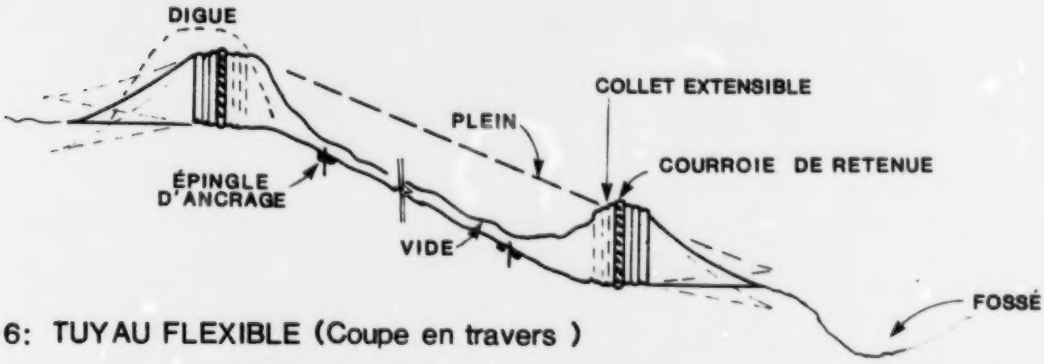


FIGURE A-6: TUYAU FLEXIBLE (Coupe en travers)

FIGURE A-7: TUYAU FLEXIBLE INSTALLÉ

Ancrage: Epingles de métal en forme de "T" passées au travers d'anneaux fixés au tuyau flexible et permettant de retenir ce dernier au sol. A tous les 20 pieds (6 m).

Exutoire: Sur une surface bien stabilisée.

ENTRETIEN: Vérifier s'il y a obstruction ou dommage après chaque orage. En période de gel, il est recommandé de s'assurer que les parois du tuyau ne sont pas gelées ensemble. Aucun matériau ne doit être déposé sur un tuyau affaissé. Vérifier si les épingles de métal sont toujours solidement fixées au sol. L'entrée du tuyau devrait être inspectée afin de s'assurer que l'eau s'écoule bien à l'intérieur de celui-ci et non pas le long de l'installation à l'extérieur.

Il est à noter que les tuyaux flexibles ne peuvent être installés sur une base permanente. De plus, lors du démantèlement de l'installation, le sol sous-jacent peut être perturbé et la croissance de la végétation retardée. L'efficacité de cette méthode est jugée très bonne et le coût d'achat et d'installation est élevé (voir photo 25).

POUR INFORMATION: RELIANCE PLASTIC AND CHEMICAL CORPORATION
110, Kerney St
P.O. Box 2627
Paterson, New-Jersey 07509

PHOTO 25: Tuyaux flexibles installés sur une pente sujette à l'érosion

GABIONS

DÉFINITION: Les gabions sont de grandes boîtes rectangulaires multi-cellulaires faites d'un treillis métallique.

OBJECTIFS: Ces paniers métalliques remplis de pierres sont attachés les uns aux autres avec du fil de fer et forment des blocs monolithiques flexibles. Ils sont utilisés dans la construction d'ouvrages de contrôle de l'érosion, dans les canaux, comme revêtement, murs de soutènement, digues, etc. (voir photos 26 et 27).

CONSTRUCTION: Une conception approuvée est requise. Les plans et devis devraient être préparés par des spécialistes familiers avec l'utilisation de cette méthode. Il convient de s'assurer, lors de la conception et de l'installation des gabions, de la stabilité du substrat où ils seront installés et de la solidité des points d'ancrage les maintenant au sol. Les pierres utilisées doivent être dures et suffisamment grosses pour ne pas s'échapper entre les mailles du panier.

ENTRETIEN: Une inspection périodique doit être faite afin de déceler tout signe d'affouillement ou d'érosion sur les pourtours de l'installation.

POUR INFORMATION:

GABIONS MACCAFERRI DU CANADA LTEE
620, Cathcart
Montréal
H3B 1M1
Tél.: (514) 878-2536

Cahier des charges et devis généraux
Ministère des Transports du Québec

PHOTO 26: Gabions protégeant la rive extérieure d'un méandre de rivière

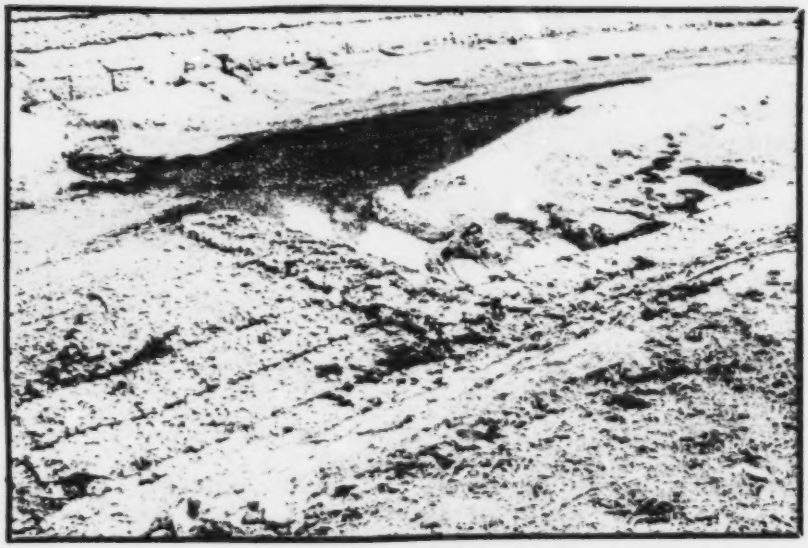


PHOTO 27: Gabions utilisés pour redresser un canal, servir de seuil et protéger les berges

DIGUE D'INTERCEPTION
(Interceptor dike)

DÉFINITION: Une digue d'interception est une crête temporaire de sol compacté construite en travers d'une emprise nivelée (voir figures A-8 et A-9).

OBJECTIFS: Ces digues interceptent le ruissellement et le dévient vers des exutoires temporaires où il peut s'écouler sans entraîner d'érosion (voir photo 28).

Les digues d'interception sont utilisées en travers d'emprises nivelées où, contrairement aux bermes filtrantes, n'est prévue aucune circulation motorisée.

CONSTRUCTION: Une conception approuvée n'est pas toujours requise. Les dimensions minimales recommandées pour une utilisation sur emprise nivelée sont les suivantes.

CRITÈRES GÉNÉRAUX:

Hauteur: 1,5 pied (0,46 m)

Largeur au sommet: 2 pieds (0,61 m)

Pente: 2:1 ou moins

Espacement: 200 à 300 pieds (61 à 91 m). Des pentes plus abruptes nécessitent un plus petit espacement

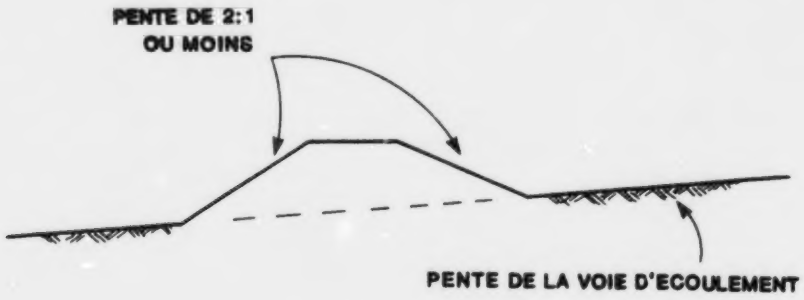


FIGURE 8: DIGUE D'INTERCEPTION (Coupe transversale)

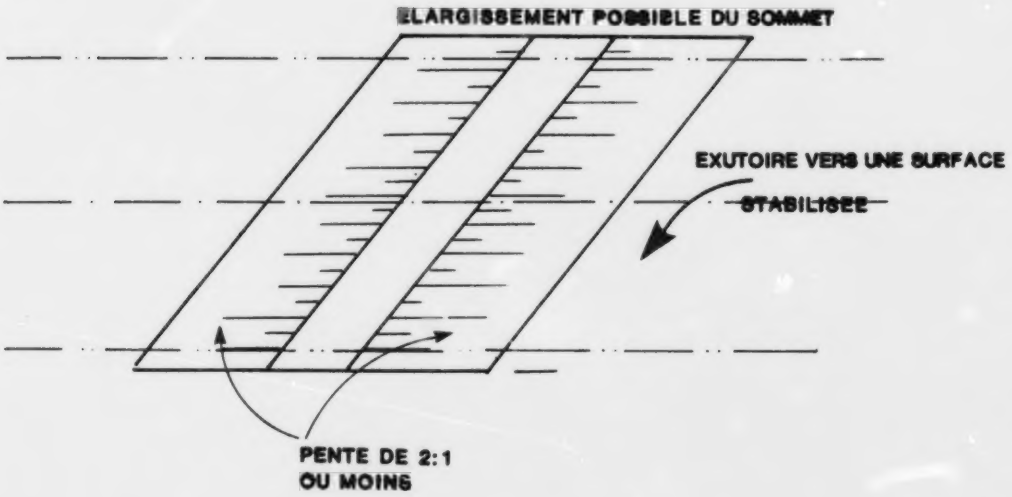


FIGURE A-9: DIGUE D'INTERCEPTION (Vue en plan)

MATERIAU: Sol compacté

ENTRETIEN: Inspecter après chaque orage pour localiser les sections endommagées. Les réparations doivent être effectuées avant le prochain orage afin de prévenir tout bris de l'ouvrage.

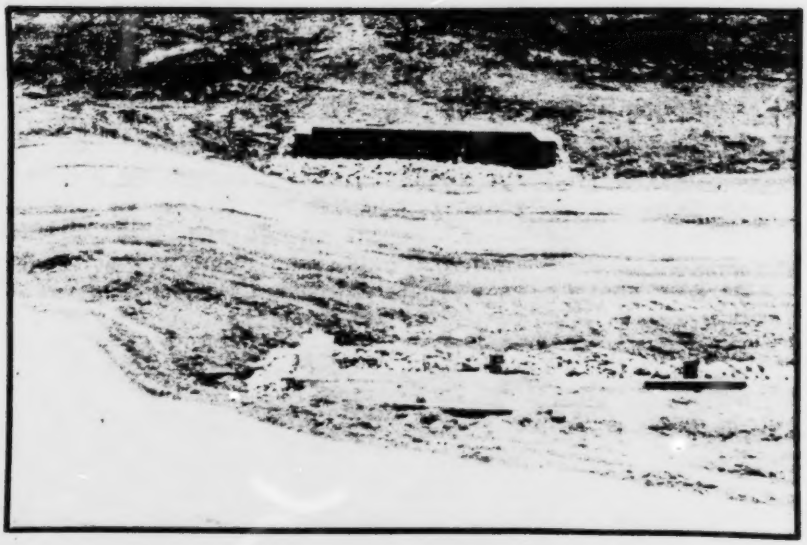


PHOTO 28: Digue d'interception déversant son eau dans un collecteur pluvial

DIFFUSEUR D'ÉCOULEMENT
(Level spreader)

DÉFINITION: Un diffuseur d'écoulement est une tranchée construite au sommet d'un talus de remblai ou de déblai et permettant de diffuser l'écoulement vers des surfaces recouvertes de végétation (voir figure A-10).

OBJECTIFS: Ces diffuseurs permettent d'intercepter le ruissellement arrivant du haut du talus et de le faire écouler sur une surface stabilisée.

CONSTRUCTION: Une conception approuvée n'est pas toujours requise. Il convient cependant de s'assurer que le rebord de la tranchée est exactement au niveau et uniforme d'une extrémité à l'autre, sinon une partie du ruissellement demeurera concentrée et la surface stabilisée risquera d'être érodée.

DIMENSION DE L'OUVRAGE:

Profondeur de la tranchée: Un minimum de 0,5 pied (15 cm).

Longueur:

Écoulement (pi^3/s)	Longueur minimale (pi)
jusqu'à 10 (jusqu'à 0,25 m^3/s)	15 (4,6 m)
10-20 (0,28 à 0,57)	20 (6,1 m)
21-30 (0,59 à 0,85)	26 (7,9 m)
31-40 (0,88 à 1,13)	36 (11 m)
41-50 (1,16 à 1,42)	44 (13,4)

Largeur: Au moins 6 pieds (1,83 m) du centre de la tranchée jusqu'au rebord.

Pente en amont: 2:1 ou moins.

Matériau: Doit être construit sur un sol non perturbé et le ruissellement doit être dévié vers une zone stabilisée avec de la végétation.

ENTRETIEN: Inspecter après chaque orage et effectuer les réparations qui s'imposent. Les coûts d'installation d'un diffuseur d'écoulement sont faibles et l'efficacité d'un tel ouvrage est jugée moyenne.

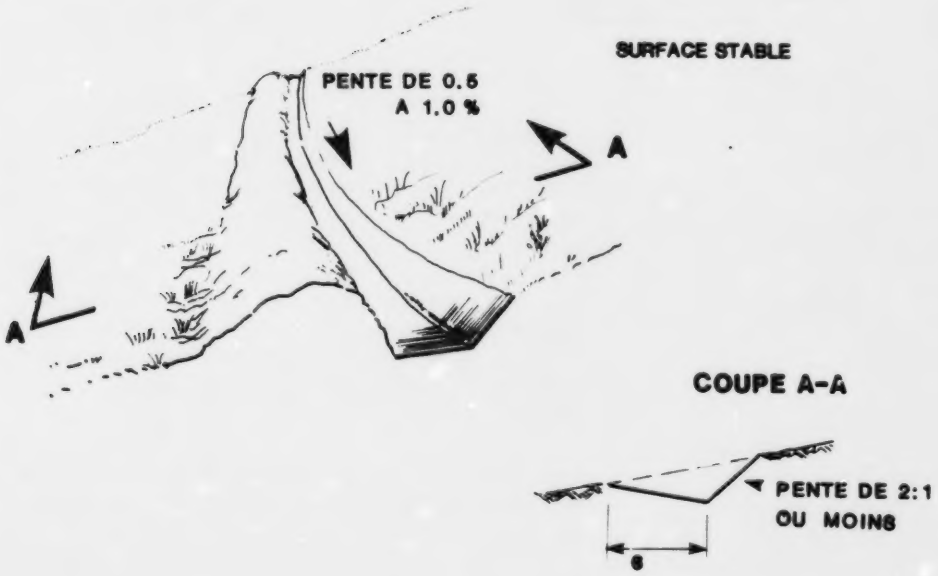


FIGURE A-10 : CROQUIS D'UN DIFFUSEUR D'ECOULEMENT

BARRIÈRES DE SACS DE SABLE
(Sandbag sediment barriers)

DÉFINITION: Les barrières à sédiment constituées de sacs de sable sont des digues temporaires qui permettent de bloquer ou de dévier l'écoulement.

OBJECTIFS: Ces barrières sont construites pour retenir les sédiments en ralentissant le ruissellement et en favorisant leur dépôt au niveau de l'installation.

Les sacs sont installés à l'entrée des égouts pluviaux, en travers de petits canaux et fossés de drainage et à d'autres endroits où l'ouvrage requis est de nature temporaire (voir photo 29).

INSTALLATION: Les sacs de sable devraient être placés de façon à ce que l'écoulement sous ou entre les sacs de sable soit minime. Des tiges d'acier peuvent être requises pour fixer l'installation si la hauteur de l'ouvrage est de plus de deux sacs. Les barrières à sédiment de sacs de sable sont faciles à installer, à déplacer ou à enlever.

ENTRETIEN: Les barrières doivent être inspectées quotidiennement car elles sont une cible facile pour les vandales. Les sédiments retenus doivent être enlevés après chaque orage.

Les coûts d'installation de ces barrières varient de faibles à moyens en fonction de leur utilisation. En général, l'efficacité de cette méthode est jugée moyenne.

PHOTO 29: Digue de sacs de sable

TUYAU A ÉCOULEMENT LIBRE
(sectional downdrain)

DÉFINITION: Un tuyau à écoulement libre est une conduite préfabriquée ouverte sur toute sa longueur et constituée de fibres bitumineés ou d'un autre matériau (photo 30).

OBJECTIFS: Ces tuyaux canalisent l'eau de ruissellement vers le bas d'une pente sans entraîner d'érosion. Ils sont utilisés de façon temporaire ou permanente sur des pentes où un ruissellement concentré causerait une érosion importante (voir photo 31).

CONSTRUCTION: Une conception approuvée est requise afin de bien calibrer la dimension de la conduite.

Pose: Sur un sol non perturbé ou un remblai bien compacté.

Diamètre: Suffisant pour permettre l'écoulement de l'eau de pluie sans qu'il y ait débordement.

Installation: Les modalités d'installation sont fournies par le manufacturier. Ne requiert pas de main-d'oeuvre spécialisée.

Exutoire: La sortie du tuyau doit donner une surface stabilisée.

ENTRETIEN: Inspecter régulièrement.

POUR INFORMATION: SONOCO LTEE
875, boul. Industriel
Granby (Québec)
J2J 1A6
Tél.: Montréal (514) 866-5881

PHOTO 30: Tuyau a écoulement libre installe sur une pente sensible

PHOTO 31: Tuyau à écoulement libre

NATTE DE RETENUE DE SÉDIMENTS
(Erosion check)

DÉFINITION: Cette méthode consiste en l'installation d'une membrane poreuse ressemblant à une natte, placée perpendiculairement à la direction de l'écoulement, dans un canal ou un fossé. Une telle technique permet de prévenir la formation de rigoles et de ravines en permettant la migration de l'eau sous la surface sans l'entraînement de particules de sol.

OBJECTIFS: Ces nattes sont installées à des intervalles déterminés, perpendiculairement à la ligne de centre des canaux et fossés où un couvert végétal est en voie d'implantation. Elles peuvent aussi être utilisées sur les pentes abruptes où des problèmes d'érosion en nappe sont appréhendés.

CONSTRUCTION: Membranes ou nattes résistantes, flexibles et poreuses à base de fibre de verre, de plastique, etc. (voir photo 32).

Emplacement: dans les canaux ou fossés:

- immédiatement en aval des exutoires de chaque tributaire;
- à chaque rupture de pente;
- à des intervalles de 20 à 75 pieds (6,1 à 23 m) dans les autres sections du canal, dépendamment de la pente, du type de sol, etc.

Profondeur: Le bas de la membrane doit être installé à une profondeur d'au moins 3 pouces (7,6 cm) sous la profondeur maximale des rigoles et ravines existantes et à une profondeur de 8 à 12 pouces (20 à 30 cm) dans les zones récemment nivelées.

Largeur: La largeur de la membrane doit être suffisante pour excéder d'au moins 6 pouces (15 cm) le niveau d'écoulement prévu.

Fixation: Bien agrafer la membrane tant au fond de la tranchée que sur ses parois à tous les 24 pouces (61 cm).

Remplissage: La tranchée doit être remplie et le sol soigneusement compacté une fois que la natte de retenue des sédiments est en place. Égaliser avec le sol de surface et ensemencer la zone perturbée par l'installation de la membrane.

Matériel de recouvrement: Toute toile ou couverture utilisée pour favoriser l'implantation de la végétation dans les canaux ou les fossés peut être utilisée. Cette bande protectrice doit excéder d'environ 2 pieds (61 m) de chaque côté (amont et aval) de la natte de retenue des sédiments et est appliquée de concert avec tout autre paillis utilisé pour favoriser l'implantation de la végétation. Elle doit être agrafée en quinconce à tous les 6 à 9 pouces (15 à 23 cm) le long de la membrane tandis que la méthode traditionnelle d'agrafage peut être utilisée sur le reste de la bande de recouvrement.

La natte doit être installée immédiatement après le nivelage final ou une fois que la préparation du terrain pour l'ensemencement est terminée.

ENTRETIEN:

Inspecter régulièrement et remplacer ou réparer lorsque nécessaire. Favoriser et maintenir l'implantation d'un couvert végétal fourni à l'aide de fertilisants.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES:

Une combinaison d'herbes courtes et de filets de plastique et de fibre de verre biodégradables ont été employés avec succès en remplacement de la couverture protectrice dont il vient d'être question. Le dense réseau de racines des herbes et le maintien fourni par le filet lié à l'utilisation de la natte de retenue des sédiments ont très bien contré la formation de rigoles et de ravines dans les fossés (performance supérieure).

La prolifération des herbes courtes peut être contrôlée en semant des herbes plus hautes autour de la couverture protectrice. Ces herbes projetteront un ombrage qui inhibera la croissance des herbes courtes.

Dans l'ensemble, ces mesures de contrôle de l'érosion peuvent être mises en place à faible coût. Leur efficacité est jugée moyenne.

PHOTO 32: Natte de fibre de verre installée dans une tranchée

(1) Membrane de fibre de verre installée au fond d'une tranchée.

(2) Membrane de fibre de verre installée dans la tranchée et sur le tas de mort-terrain.

(3) Membrane de fibre de verre filtrant l'eau du sol.

(4) Couverture protectrice recouvrant la zone de contrôle de l'érosion.

D) LES OUVRAGES DE CAPTAGE DES SÉDIMENTS: LES BASSINS DE SÉDIMENTATION

MESURES D'ATTÉNUATION:
D) BASSINS DE SÉDIMENTATION

GÉNÉRALITÉS

Les bassins de sédimentation sont utilisés afin de minimiser les répercussions sur l'environnement (plus particulièrement sur le milieu aquatique), dues au ruissellement chargé de sédiments provenant des chantiers de construction situés en amont.

Il font généralement partie d'un programme global de contrôle de l'érosion et sont utilisés de concert avec d'autres techniques de contrôle dont les principales sont présentées dans les sections précédentes. Dans certains cas, les bassins de sédimentation constituent le seul moyen d'assurer une protection efficace aux lacs et cours d'eau durant les phases de défrichement et de terrassement d'un projet routier.

BASSINS DE SÉDIMENTATION

DÉFINITIONS

Les bassins de sédimentation constituent, à l'intérieur d'un programme de contrôle de l'érosion, l'ultime ligne de défense contre l'invasion des cours d'eau et des lacs par les solides en suspension.

Il existe trois types de bassins de sédimentation; d'urgence, temporaire ou permanent.

Les bassins d'urgence sont mis en place pour une très courte période de temps, parfois même pour une seule nuit. Ils peuvent atteindre 3 à 5 pieds de profondeur et leur construction ne nécessite pas de design particulier. Ils sont normalement construits dans les fossés de drainage de la route et leurs dimensions varient dépendamment de plusieurs facteurs, tels que l'espace disponible à l'endroit choisi. Ils constituent essentiellement un élargissement et un approfondissement artificiel du fossé de drainage de la route. Leur présence favorise une réduction de la vitesse d'écoulement des eaux et le processus de sédimentation aux endroits retenus. Normalement, ce sont les particules les plus denses qui se sédimentent, tandis que les particules fines sont plus susceptibles d'être transportées au-delà du bassin. Le volume moyen de ces bassins est habituellement de 65 m^3 par acre de surface à drainer.

Afin d'augmenter leur efficacité, les bassins d'urgence peuvent être munis d'une digue filtrante à la tête, constituées de pierres concassées, tel que présenté par la photo 33.

L'emplacement idéal d'un bassin de ce type est immédiatement à l'entrée des ponceaux de drainage d'une route, évitant du même coup l'ensablement de ces derniers. Les bassins d'urgence sont aussi communément appelés trappes à sédiments.

Les bassins temporaires, dont il sera surtout question dans la présente étude, demeurent orérationnels durant toute la période de construction, ou du moins jusqu'à ce que leur utilisation ne soit plus nécessaire. Il suffit de nettoyer ces bassins de façon régulière pour qu'ils demeurent efficaces durant de nombreuses années. Leur localisation, qui devrait être inscrite aux plans et devis généraux, ne doit pas interférer avec les travaux de construction. Les bassins temporaires sont de plus grande dimension que les bassins d'urgence et leur conception doit être approuvée par un ingénieur.

Les bassins permanent s'apparentent beaucoup aux bassins temporaires mais ils sont de plus grande dimension. Ils restent en place une fois que la construction de la route est terminée. Ils peuvent alors être utilisés pour la pratique d'activités récréatives ou être intégrés dans un aménagement paysager.

PHOTO 33: Un bassin d'urgence pendant la phase de défrichement

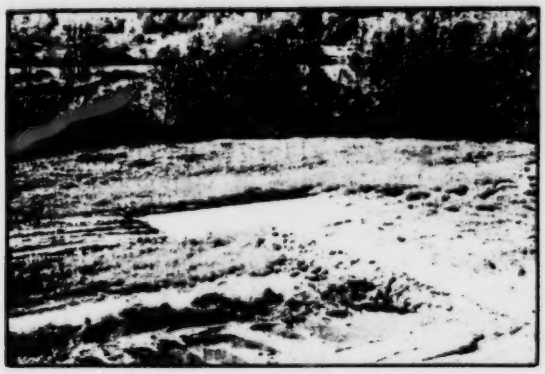


PHOTO 34: Un bassin de sédimentation temporaire permet de protéger un cours d'eau des sédiments provenant de la route

PHOTO 35: Ce lac, qui était à l'origine un bassin de sédimentation, constitue maintenant un site récréatif permanent

ÉLÉMENTS CONSTITUANTS D'UN BASSIN DE SÉDIMENTATION

Les principales parties constituantes d'un bassin de sédimentation sont: le réservoir en tant que tel, qui permet la rétention des sédiments, un évacuateur principal, par le biais duquel s'écoule l'eau retenue dans le bassin, un évacuateur d'urgence pour l'évacuation des eaux d'inondation, une digue et une voie d'eau ou un canal stabilisé, par où peut s'écouler l'eau du bassin sans entraîner d'érosion.

Dépendamment du type de bassin et d'évacuateur(s) retenu(s), car il en existe plusieurs, les caractéristiques de ces composantes peuvent varier et certaines peuvent même être omises.

LOCALISATION

Si le bassin de sédimentation ne peut être localisé à l'intérieur de l'emprise de la route à proximité de la source de sédiments, un site extérieur près de ladite source doit être trouvé.

Le bassin devrait être situé de façon à ce qu'il ne reçoive que le ruissellement en provenance de la zone perturbée par la construction de la route. Il est important d'éviter les zones de drainage extérieures à celle étudiée car ceci agmente le ruissellement et contribue à diminuer par le fait même la capacité de sédimentation du bassin. Il convient, par conséquent, de construire les bassins non pas sur les voies d'eau principales, mais plutôt sur les tributaires de moindre importance, comme l'indique la figure A-11.

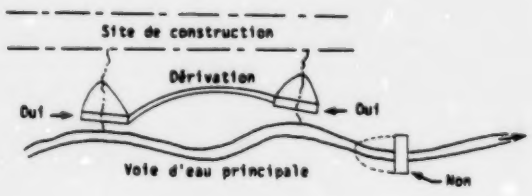


Figure A-11: Bonnes et mauvaises localisations pour la mise en place de bassins de sédimentation.

Le bassin devrait être situé là où il ne pourra interférer avec les déplacements de la machinerie ou créer des retenues d'eau susceptibles d'inonder le site de construction. Les fossés en bordure des routes, les terrains vacants, les vieux canaux de drainage, les terrains situés à l'intérieur des échangeurs et les zones médianes suffisamment grandes pour l'utilisation recherchée sont recommandés.

De plus, le bassin devrait être facile d'accès pour le nettoyage. Il faut aussi prévoir une zone adjacente destinée à recevoir le matériel récupéré du bassin lors des nettoyages.

En dernier lieu, lors de la recherche d'un site pour la localisation d'un bassin, il convient d'éviter les endroits présentant un intérêt archéologique et les zones humides protégées.

Si le bassin est situé dans une zone habitée, il se peut qu'on doive le clôturer.

CONCEPTION D'UN BASSIN DE SÉDIMENTATION

Il convient de bien connaître les besoins et les objectifs de protection visés avant de procéder à l'installation d'un bassin de sédimentation, afin d'assurer à ce dernier une efficacité maximale sans qu'elle soit excessive. Il est donc important de bien estimer le degré de risque à respecter en fonction de l'importance écologique du milieu récepteur à protéger tout en s'appuyant sur des considérations réalistes.

Comme cela sera expliqué plus en détail ultérieurement, le volume d'emmagasinement d'un bassin de sédimentation varie selon l'ampleur de l'averse retenue pour les calculs. Il convient donc de s'assurer qu'une fois installé, le bassin retiendra l'eau des faibles averses à haute fréquence et que l'évacuateur d'urgence ne fonctionnera que lors des pluies exceptionnelles.

Ainsi, si l'averse retenue en est une de courte durée et d'une période de retour d'un an par exemple, le bassin construit sera de petite dimension et débordera régulièrement au cours d'une saison. Par contre, si une averse de longue durée et d'une période de retour de 100 ans est retenue, le bassin mis en place sera peut-être trop dispendieux pour l'efficacité recherchée, car les coûts de construction augmentent avec la grandeur du bassin.

Il est donc préférable de s'en tenir à des estimations réalistes. Il est habituellement recommandé d'utiliser l'averse maximale de 24 heures et d'une période de retour de 2 ans pour estimer les dimensions d'un bassin de sédimentation.

1) Principe de fonctionnement

Tous les types de bassins de sédimentation (d'urgence, temporaire, permanent) agissent en tant que réservoir permettant, dans un premier temps, la séparation par décantation des particules solides de l'eau, et dans un deuxième temps, l'emmagasinement des sédiments ainsi retenus, soit pour toute la durée des travaux de construction ou entre deux nettoyages. Le nettoyage, qui consiste à récupérer les sédiments retenus dans les bassins, se fait normalement après un orage de forte intensité.

La décantation peut se faire de façon naturelle sous l'influence de la gravité ou à l'aide de produits coagulants.

La sédimentation "naturelle" se réalise par le biais des conditions hydrauliques particulières (relation longueur, hauteur, largeur; volume et forme) qui sont créées à l'intérieur même des bassins de sédimentation.

Ces conditions hydrauliques sont calculées en fonction de la densité et du diamètre d'une particule type. Toutes les particules de densité et de diamètre égaux ou supérieurs

à celle servant de référence seront alors retenues à l'intérieur du bassin tandis que les autres seront entraînées avec le courant.

Le pourcentage de particules retenues par rapport à la charge totale des solides en suspension à l'entrée du bassin correspond à la capacité de rétention du bassin en % (rr) ou à l'efficacité du bassin.

L'efficacité constitue un critère important considéré dans la conception d'un bassin de sédimentation. Ce degré d'efficacité est choisi en fonction des coûts de construction, de l'espace disponible et évidemment du pourcentage de réduction recherché au niveau de la quantité de particules susceptibles d'atteindre le récepteur le plus sensible du bassin hydrographique touché par le projet.

La décantation des particules peut aussi se faire par le biais de produits chimiques, particulièrement lorsque la concentration en sédiments excède celle permise ou lorsque la quantité retrouvée à la sortie du bassin est trop importante.

Le principal coagulant utilisé est l'alun. Ce produit favorise la floculation et la décantation des particules fines telles que l'argile. L'alun réagit avec le bicarbonate de calcium pour former un précipité gélatineux dont la charge positive neutralise la charge négative des particules d'argile et permet leur agrégation.

Si l'eau n'a pas suffisamment d'alcalinité naturelle, de la chaux est alors ajoutée.

Des trois types de bassins présentés à la section précédente, seul le bassin temporaire sera considéré dans le présent document, les bassins d'urgence ne nécessitant pas de conception particulière et les bassins permanents étant construits selon les mêmes principes que les temporaires.

Les figures A-13 et A-14 présentent différents croquis de bassins de sédimentation temporaires, selon qu'ils sont construits à même un réservoir naturel ou excavé.

2) Évaluation du volume requis pour la construction d'un bassin de sédimentation

Le volume total d'un bassin de sédimentation peut être séparé en trois composantes qui sont le volume d'emmagasinement des sédiments (V_s), le volume d'emmagasinement de l'eau (V_e) et le volume libre.

a) Le volume d'emmagasinement des sédiments, comme son nom l'indique, est le volume requis pour la rétention des sédiments entre deux orages. Ce volume est évalué par le biais de l'équation universelle de perte de sol et en fonction de la période de récurrence retenue pour les calculs. Ceci correspond au paramètre EI_{30} dans l'équation universelle.

Ce facteur est particulièrement important car le volume choisi pour le bassin varie, comme déjà spécifié, selon la période de récurrence retenue. Ainsi, plus cette dernière est grande, un orage de 24 heures avec une période de retour de 100 ans par exemple, plus grand doit être le volume d'emmagasinement des sédiments et par le fait même, celui du bassin de sédimentation. Le coût de construction de ce dernier augmente aussi en conséquence. Un grand bassin nécessite cependant des nettoyages moins fréquents.

Le concepteur du bassin doit donc déterminer, en premier lieu, le facteur de risque qu'il juge acceptable pour son projet et choisir la période de récurrence à utiliser dans les calculs en fonction de ce facteur. En général, il est recommandé de se baser sur une pluie de 24 heures avec une période de retour de 2 ans pour le calcul de V_s.

Les bassins peuvent être soit creusés à même le sol, (il est alors possible de calculer les dimensions (longueur, largeur, profondeur) les plus adéquates, compte tenu de l'espace disponible et de la topographie), ou être construits à même une dépression naturelle existante. Dans ce dernier cas, il est possible d'estimer le volume d'emmagasinement des sédiments, aussi appelé la hauteur des sédiments, par le biais

de la formule suivante:

$$Y = \left[\frac{(4.5\ \sqrt{V}S\ \sqrt{D})}{W}\right]^{2/5} \qquad (1\text{-}A)$$

OÙ Y = Profondeur en pieds
V = Volume de déposition en pieds cubes
S = Pente longitudinale du fond du réservoir en pied x pied
D = Profondeur du bassin au niveau de la digue en pieds
W = Largeur du bassin au niveau de la digue en pieds

La figure A-12 permet de mieux visualiser chacun de ces paramètres

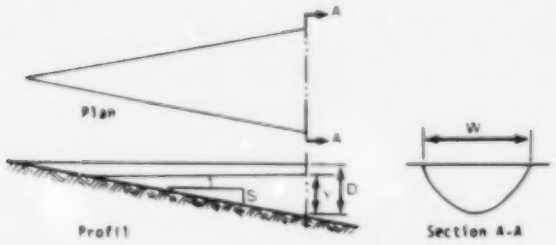


Figure A-12 : Croquis correspondant à l'équation (1-a).

Les valeurs de D, W et S sont déterminées sur le terrain de même que la hauteur d'eau maximale acceptable pour le site retenu. Toutes les paires de valeur peuvent être utilisées pour W et D, mais la valeur de D qui représente le mieux le profil en travers du réservoir, qui est généralement de forme parabolique, devrait être retenue, et la valeur correspondante de W, mesurée. Il ne reste plus alors qu'à déterminer la longueur de pente moyenne S du lit du réservoir pour

être en possession des trois (3) éléments de l'équation permettant de déterminer la profondeur (Y) du réservoir pour tout volume (V) donné.

La solution de l'équation (1-A) présentée précédemment peut être fournie par le nomogramme de la figure suivante.

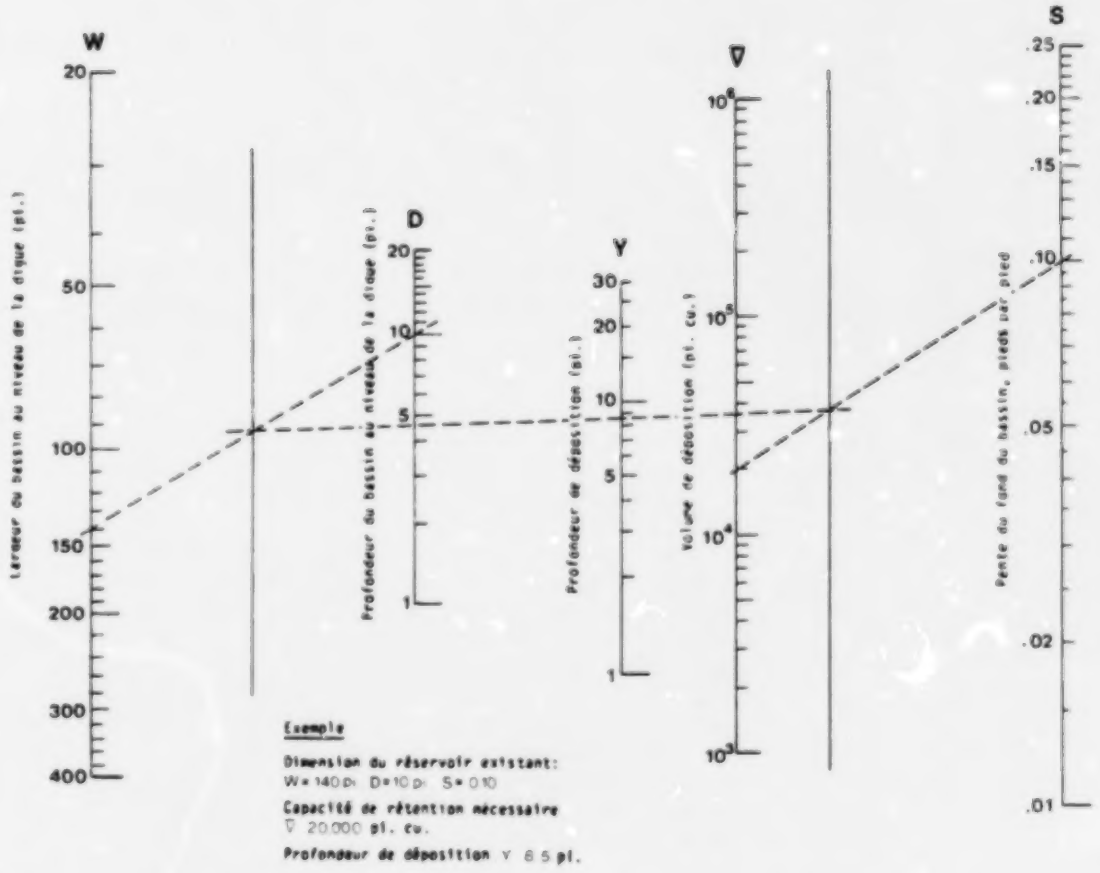


FIGURE A-13: NOMOGRAMME PERMETTANT DE RÉSOUDRE L'ÉQUATION (1-a) POUR L'ÉVALUATION DE LA PROFONDEUR DE RÉTENTION D'UN RÉSERVOIR.

Cette même équation peut aussi être utilisée pour déterminer la profondeur maximale d'emmagasinement du réservoir (volume d'emmagasinement des sédiments et volume d'emmagasinement des eaux).

b) Une fois la période de retour choisie, le concepteur du projet évalue ensuite le volume d'emmagasinement en eau (V_e) du bassin ou le volume de ruissellement devant être emmagasiné dans le bassin.

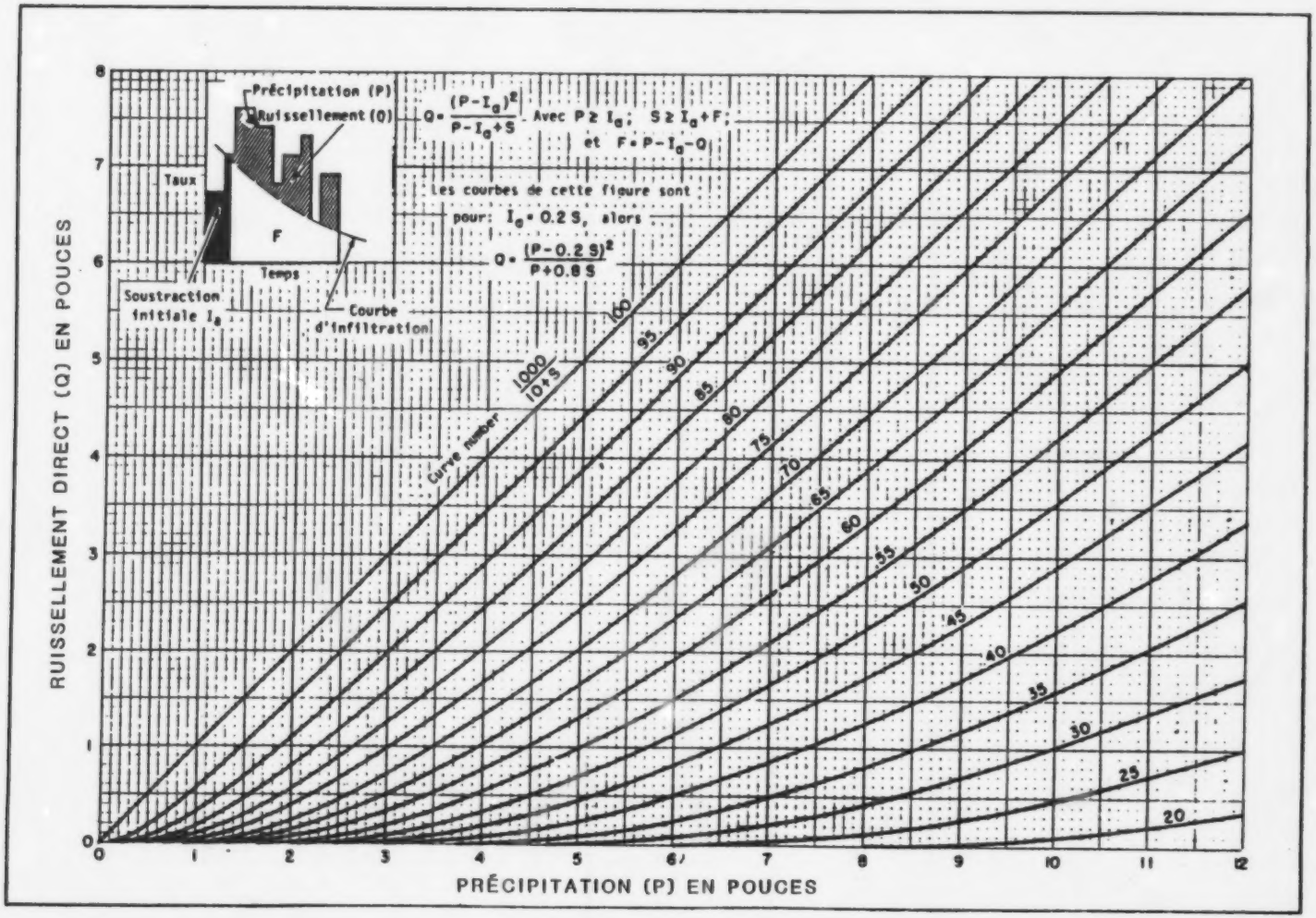
Le Service de conservation des sols des États-Unis a développé une méthode à cet effet, basée sur la relation existant entre le ruissellement et la pluie qui tombe et illustrée à la figure A-14. La méthode "CURVE NUMBER" fournit une estimation de la quantité de ruissellement qu'est susceptible de produire un bassin versant donné. Les valeurs de cette méthode sont basées sur le type et la condition du sol en présence, sa couverture et les conditions antérieures d'humidité.

La période de récurrence retenue par le concepteur pour ces calculs peut être la même que celle ayant servi dans l'évaluation du volume de sédiments ou être différente.

Il est toutefois recommandé d'utiliser une pluie avec une fréquence élevée de récurrence pour le calcul de (V_e). Une analyse coûts-avantages doit tout de même être réalisée et un facteur acceptable de risque doit être déterminé avant le choix final.

Le bassin est alors conçu de façon à pouvoir retenir tout le volume de ruissellement tel que défini selon les critères énoncés précédemment.

Il doit aussi pouvoir se vidanger graduellement par le biais de l'évacuateur principal selon le temps de rétention (t_r) choisi, qui est normalement d'une durée de 24 heures. Plus le temps de rétention retenu est petit, plus le bassin sera de dimension réduite. D'un autre côté, bien que l'efficacité du bassin augmente avec un "t_r" plus grand, sa capacité de rétention pour l'orage suivant diminue en conséquence. Il est donc préférable que l'évacuateur d'urgence, lui, soit conçu en fonction d'une pluie d'une fréquence limitée de récurrence telle que 24 h/50 ans ou 24 h/100 ans.



P=0 à 12 POUCES
Q=0 à 8 POUCES

FIGURE A-14 : HYDROLOGIE: SOLUTION DE L'ÉQUATION DU RUISSELLEMENT

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$$

Un autre élément dont la prise en considération peut s'avérer importante dans une telle étude est la probabilité qu'une précipitation d'une durée et d'une période de retour équivalentes à celle retenue se produise au moins une fois durant l'utilisation d'un bassin. Les probabilités que certaines périodes de retour se produisent pendant un laps de temps donné sont présentées au tableau 1-A.

TABLEAU A-1 PROBABILITÉS QUE DES PLUIES AVEC CERTAINES PÉRIODES DE RECURRENCE DONNÉES SE PRODUISENT PENDANT LA DURÉE DE VIE D'UN BASSIN

PROBABILITÉ	PÉRIODE DE RETOUR (ANNÉES)	
	BASSIN AVEC DURÉE DE VIE D'UN AN	BASSIN AVEC DURÉE DE VIE DE DEUX ANS
0.01	100	200
0.05	50	39
0.10	10	19
0.20	5	9
0.50	2	3.4

Mentionnons en dernier lieu, qu'il est possible de réduire la valeur du volume d'emmagasinement des eaux en effectuant des calculs de laminage, c'est-à-dire en tenant compte de l'eau évacuée au fur et à mesure, via l'évacuateur principal. Le volume effectif des eaux serait alors inférieur au volume total de la pluie qui entre dans le bassin de sédimentation. En pratique, compte tenu des faibles différences enregistrées à ce niveau et des débits d'eau considérés, ce calcul s'avère inutile.

c) En dernier lieu, il convient de calculer le volume libre du bassin de sédimentation, qui correspond généralement à la hauteur laissée entre la crête de l'évacuateur d'urgence et la digue du bassin. Cette hauteur libre

(revanche), qui est normalement d'un pied, peut être considérée comme un facteur de sécurité supplémentaire en plus d'assurer une certaine protection contre les vagues et l'affouillement à proximité des conduites.

3) Évaluation de l'efficacité d'un bassin de sédimentation

L'efficacité d'un bassin de sédimentation se traduit généralement par le pourcentage de particules qui sont retenues à l'intérieur du bassin par rapport à la charge totale des sédiments retrouvés à l'entrée de ce dernier. Le pourcentage de particules devant être retenues est déterminé en partie selon la sensibilité des différentes composantes du milieu récepteur en aval du projet. Comme déjà spécifié précédemment, l'efficacité constitue un critère important pour la conception du bassin et elle est obtenue par le biais de calculs relatifs au transport de sédiments en milieu hydrique.

L'efficacité d'un bassin de sédimentation varie en fonction de la longueur, de la largeur de même que de la profondeur du bassin.

Lorsqu'il est décidé d'entreprendre une étude sur l'érosion des sols, plusieurs échantillons de sols doivent être récoltés. Il est important que ces échantillons soient pris à des endroits et profondeurs jugés, lors de la présélection, comme étant représentatifs des surfaces et des matériaux qui seront exposés aux forces de l'érosion. Ces sols sont ensuite analysés en laboratoire afin de déterminer leur courbe granulométrique. La figure A-15 permet de visualiser une courbe granulométrique type.

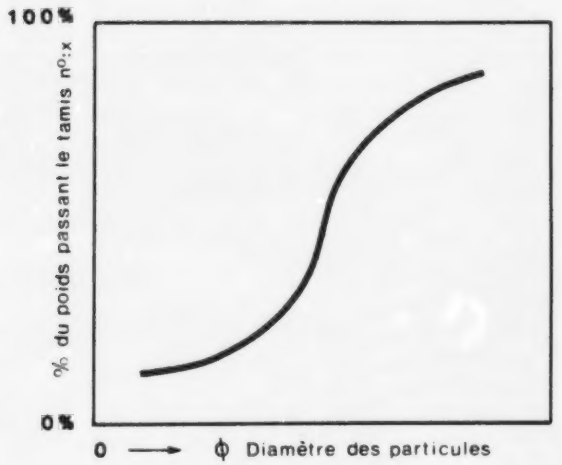


FIGURE A-15: COURBE GRANULOMÉTRIQUE

Il est possible, à l'aide de l'équation de perte de sol et du nomogramme de transport des sédiments, d'estimer le volume de sédiments à l'entrée du bassin de même que la courbe granulométrique de ces derniers.

La relation mathématique existant entre le pourcentage de rétention des particules dans un bassin donné et les différentes vitesses de sédimentation de ces particules se traduit par l'équation suivante, mise au point par Camp.

$$r_r = \frac{v}{V_o} = \frac{(b \cdot L \cdot v)}{Q} \qquad (2\text{-A})$$

Où r_r = Efficacité du bassin (%)
b = Largeur du bassin (pi)
L = Longueur du bassin (pi)
v = Vitesse de sédimentation de la particule étudiée (pi/sec)
Q = Taux d'évacuation du bassin (pi^3/sec)
V_o = Une vitesse définie comme étant le taux de débordement du bassin (pi/sec)
$= \frac{Q}{bl}$

Toutes les particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à V_o vont se sédimenter à l'intérieur du bassin.

Le pourcentage de rétention des particules dont la vitesse de sédimentation est inférieure à V_o peut être évalué par la formule suivante, aussi mise au point par Camp.

$$r_r = 1 - C_{r,o} + \frac{1}{V_o} \int_o^{C_{r,o}} v \, d \, C_r \qquad (3\text{-A})$$

Où C_r = Taux de concentration de particules
$C_{r,o}$ = Fraction de particules ou taux de concentration des particules dont la vitesse de sédimentation est inférieure à V_o
$1-C_{r,o}$ = Fraction de particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à V_o

La vitesse de sédimentation d'une particule sphérique donnée peut être évaluée par le biais de l'équation suivante (loi de Stoke):

$$v = \left(\frac{1}{18}\right)\left(\frac{g}{\mu}\right)(P_1 - P)\,D2 \qquad (4\text{-A})$$

Où μ = Viscosité absolue de l'eau
D = Diamètre de la particule étudiée
g = Accélération gravitaire
P_1 = Densité de la particules
P = Densité de l'eau

Une fois que le pourcentage de rétention requis $(1 - C_{r,o})$ est connu, il est possible, à l'aide de la figure A-15, de déterminer le diamètre de la particule-cible (Q).

De plus, lorsque la courbe granulométrique des solides en suspension à l'entrée du bassin est connue, il est possible à l'aide de l'équation (4-A), de tracer la courbe du graphique de la figure A-16 mettant en relation le diamètre des particules Q et le taux de débordement V_o.

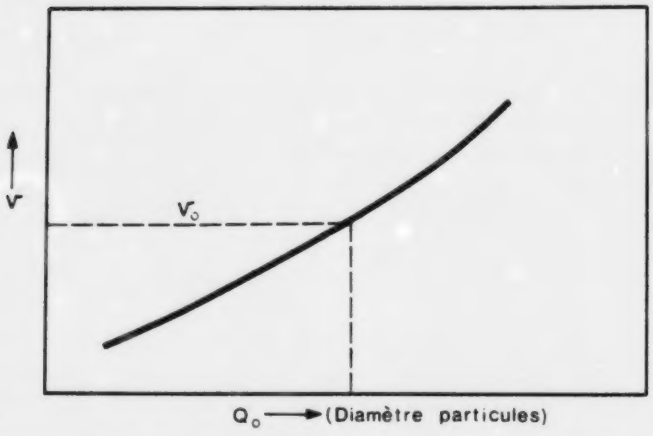


FIGURE A-16: DIAGRAMME POUR LA DÉTERMINATION DU TAUX DE DÉBORDEMENT.

La théorie de la sédimentation dans les équations (2-A) et (4-A) se basait sur un écoulement calme. Par contre, l'écoulement traversant un bassin de sédimentation est plutôt susceptible d'être turbulent lorsque le nombre de Reynolds le caractérisant est supérieur à 0,5. Camp a développé un diagramme (voir figure A-17) permettant de déterminer l'efficacité du bassin avec un écoulement turbulent. La valeur de l'abscisse de ce diagramme est évaluée par le biais de l'équation suivante:

$$\frac{vH}{2e} = 122 \left(\frac{v}{V} \right) \qquad (5\text{-A})$$

Où V = Vitesse moyenne de la particule
H = Profondeur du bassin
e = Coefficient de mélange
v = Vitesse de sédimentation de la particule

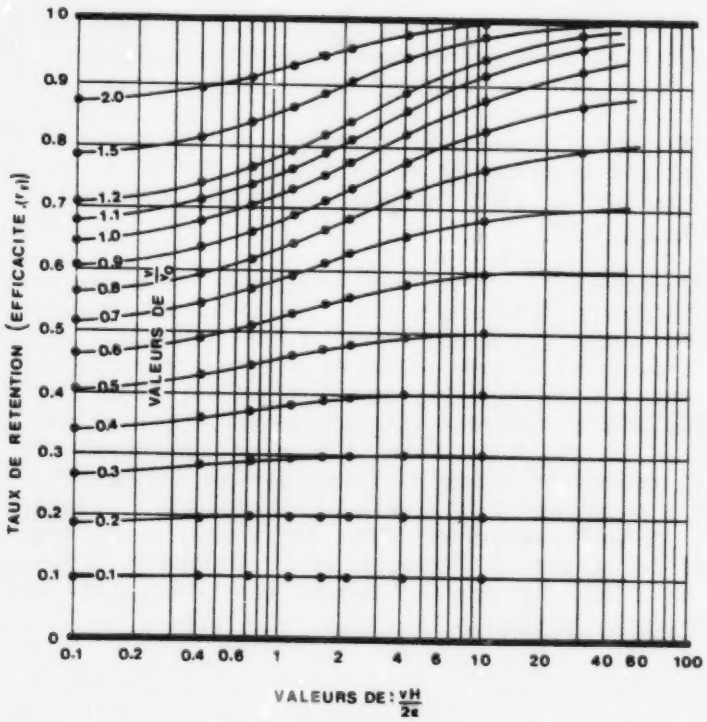


FIGURE A-17: EFFICACITÉ D'UN BASSIN DE SÉDIMENTATION SELON CAMP AVEC UN ÉCOULEMENT TURBULENT

4) Évacuateur principal

L'évacuateur principal d'un bassin de sédimentation sert à drainer les eaux de ruissellement temporairement emmagasinées entre sa crête et le niveau d'évacuation de l'évacuateur d'urgence.

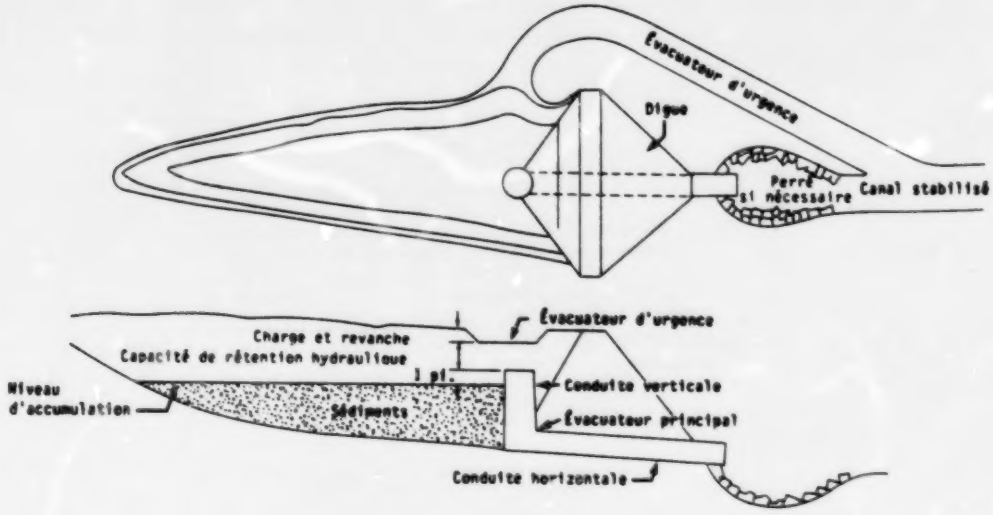
La hauteur de la crête de l'évacuateur principal est habituellement fixée à un (1) pied au-dessus du niveau prévu de sédiments.

Tel que déjà spécifié, le 1 pied supplémentaire (0.3 m) peut être considéré comme un facteur de sécurité. Si la conception du bassin est faite de façon à ce que le ruissellement de l'averse avec une grande période de retour considérée dans les calculs ne puisse s'écouler au-dessus de l'évacuateur principal, un espace d'emmagasinement de l'eau doit être prévu entre la crête de la conduite de l'évacuateur principal et la crête de l'évacuateur d'urgence.

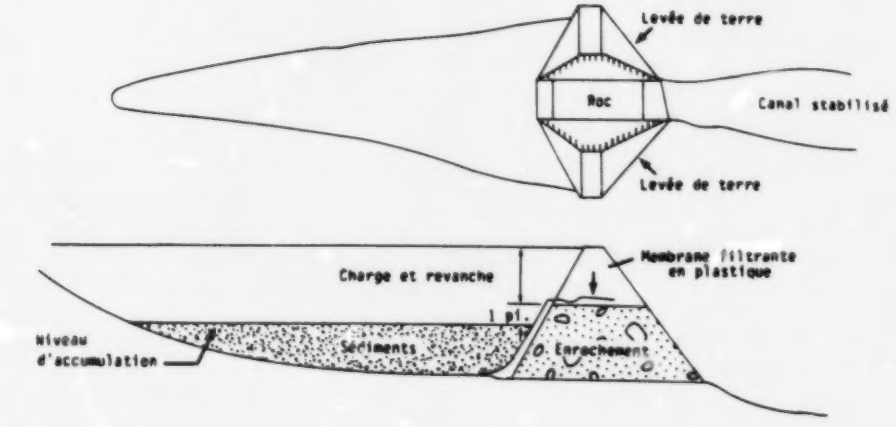
Le temps requis pour que l'évacuation de l'eau emmagasinée se fasse entre les deux crêtes mentionnées précédemment est le temps de rétention (t_r) dont il a déjà été question.

Ce dernier est fonction du diamètre de la conduite horizontale de l'évacuateur principal, de la charge ainsi que du mode d'écoulement, dont il sera amplement question un peu plus loin.

Il existe plusieurs types d'évacuateurs, mais deux seront particulièrement développés dans la présente étude, soit l'évacuateur avec digue de pierre et l'évacuateur à entrée en chute. L'évacuateur avec digue de pierre concassée ou perré (voir figures A-18 et A-19) consiste en une digue de pierre recouverte d'une membrane filtrante qui sert d'évacuateur principal. Le débit de l'eau s'écoulant à travers la membrane est cependant susceptible de varier à cause du limon qui peut s'accumuler à sa surface. Par contre, compte tenu du fait qu'une certaine quantité d'eau peut s'écouler au-dessus de la partie immergée de la membrane, l'hypothèse retenue sera que les eaux retenues dans le bassin peuvent s'écouler en 24 heures.

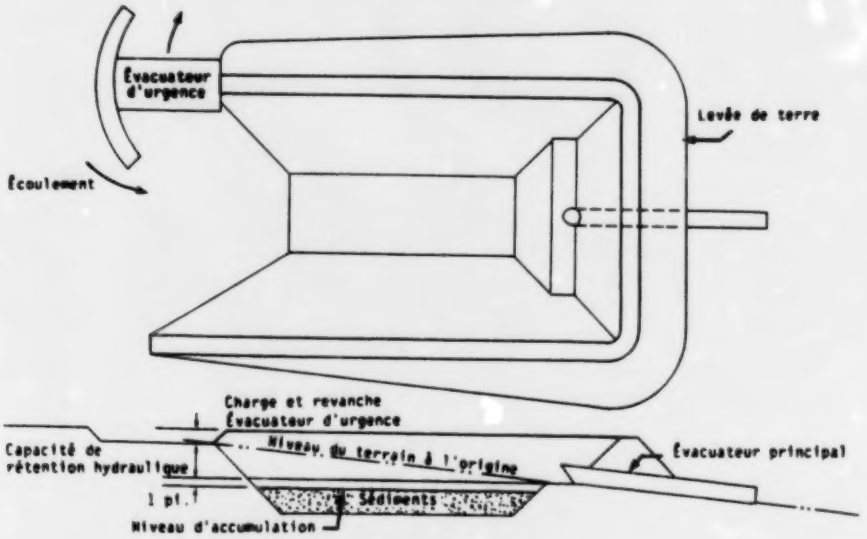


a) Bassin de sédimentation avec évacuateur principal et évacuateur d'urgence

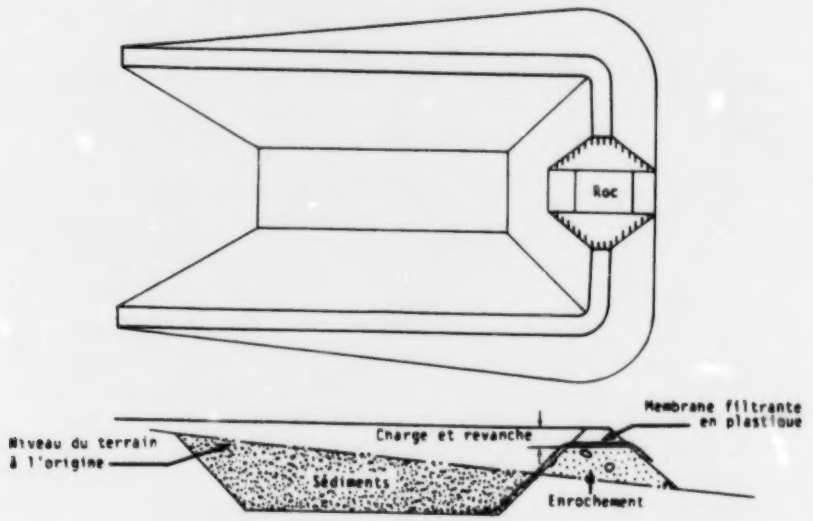


b) Bassin de sédimentation avec digue de roches et membrane géotextile

FIGURE A-18: BASSINS DE SÉDIMENTATION CONSTRUITS À MÊME UN RÉSERVOIR NATUREL.



a) Bassin de sédimentation avec évacuateur principal et évacuateur d'urgence



b) Bassin de sédimentation avec digue de roches et membrane filtrante

FIGURE A-19: BASSINS DE SÉDIMENTATION EXCAVÉS.

Les détails de construction de la digue et d'installation de la membrane sont présentés à la figure A-20.

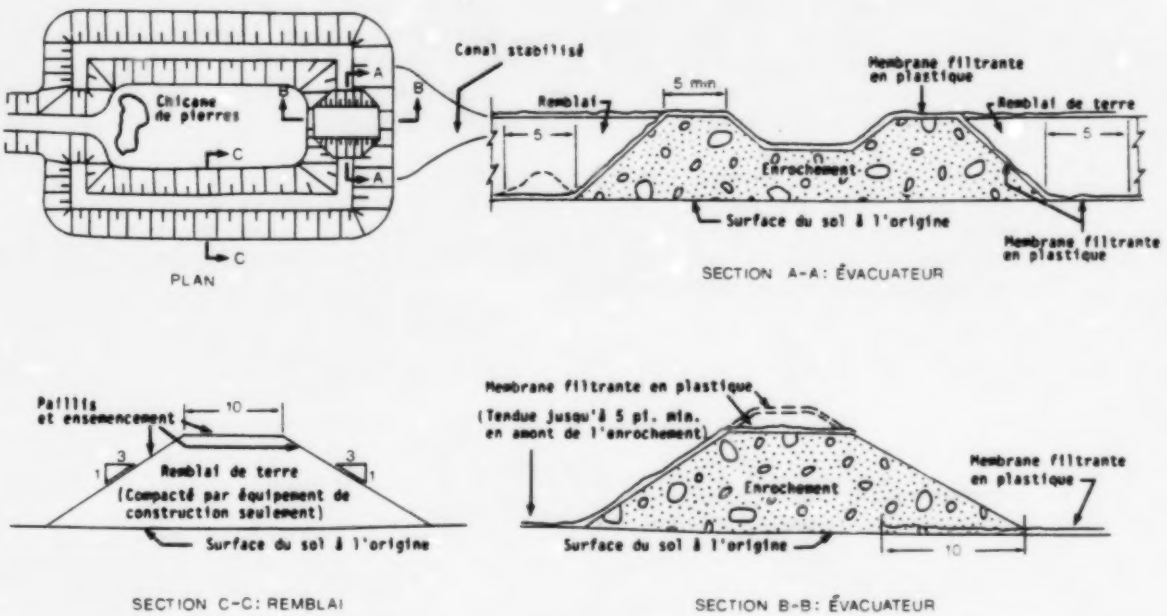


FIGURE A-20: DÉTAILS SUGGÉRÉS POUR LA CONSTRUCTION D'UN BASSIN DE SÉDIMENTATION AVEC DIGUE DE ROCHES ET MEMBRANE FILTRANTE.

La méthode permettant de déterminer les dimensions d'une digue est la suivante:

1. Ajouter le volume estimé de sédiments au volume de ruissellement devant être retenu dans le bassin.

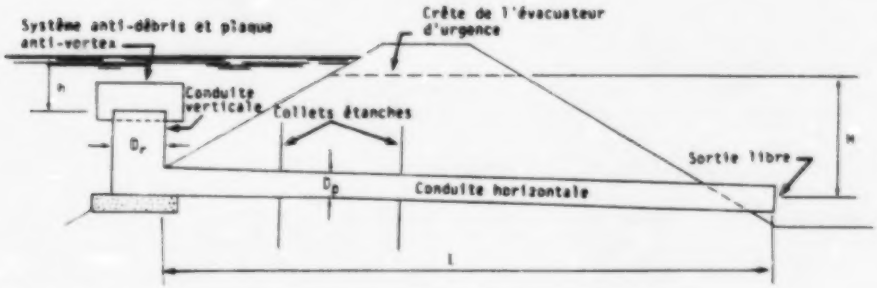
2. Utiliser la valeur ainsi obtenue dans le graphique de la figure D afin d'obtenir une approximation préliminaire de la profondeur du bassin.

3. Ajouter 1 pied (0,3 m) à la valeur obtenue en 2 afin de déterminer la hauteur de la crête de l'évacuateur d'urgence. La charge au-dessus de l'évacuateur est équivalente à la hauteur d'eau de surface maximum acceptable à l'endroit visée.

La revanche correspond à la hauteur ajoutée à la digue pour prévenir le dépassement (débordement) par des vagues ou pour contenir certains orages plus importants que celui retenu pour les calculs de conception.

L'évacuateur à entrée en chute (voir figure A-21) est principalement composé de deux conduites, une horizontale (barrel) qui traverse la digue au-delà du pied de remblai, et une verticale (riser), qui elle se raccorde directement à l'extrémité supérieure de la conduite horizontale.

Le débit dans l'évacuateur varie selon le mode d'écoulement qui peut être en parois (Weir flow) ou à plein tuyau (full pipe flow). La figure A-22 présente une courbe schématique des débits jaugés illustrant les deux modes d'écoulement pour un évacuateur à entrée en chute.



H = Charge de l'évacuateur, en pieds.
h = Charge au-dessus de la crête de la conduite verticale
L = Longueur de la conduite horizontale
D_p = Diamètre de la conduite horizontale
D_r = Diamètre de la conduite verticale

FIGURE A-21: ÉVACUATEUR AVEC ENTRÉE EN CHUTE.

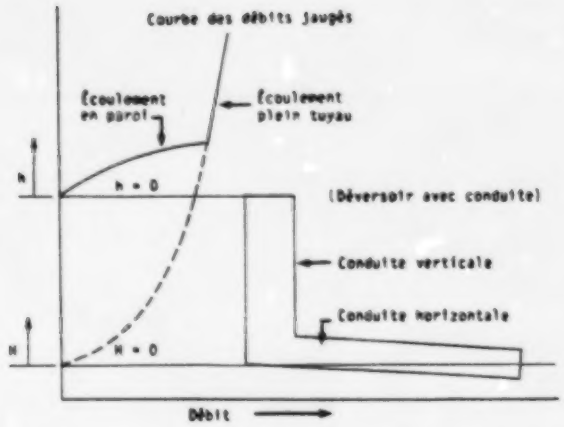


Figure A-22: Courbe des débits jaugés pour l'entrée de la conduite verticale d'un évacuateur pour les deux modes d'écoulement.

La hauteur de la conduite verticale devrait être cinq fois le diamètre de la conduite horizontale si la pente de cette dernière est supérieure à l'angle de friction.

Si la pente de la conduite horizontale est égale ou inférieure à l'angle de friction, la hauteur de la conduite verticale devra alors être deux fois le diamètre de la conduite horizontale.

Le tableau suivant présente les diamètres recommandés pour les conduites verticales en fonction de divers diamètres pouvant caractériser les conduites horizontales.

TABLEAU A-2: DIAMÈTRE DE LA CONDUITE VERTICALE EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE LA CONDUITE HORIZONTALE

DIAMÈTRE DE LA CONDUITE HORIZONTALE (po)	DIAMÈTRE DE LA CONDUITE VERTICALE (po)
8 - 12	18
15	21
18	24
21	30
24	30
30	36
36	48
42	54
48	60

Dépendamment des modes d'écoulement, il existe deux équations permettant d'évaluer les débits. Ainsi pour le mode d'écoulement en parois:

$$Q = CLh^{3/2} \qquad (6\text{-}A)$$

Où Q = Débit ou taux d'évacuation en pi^3 / sec
C = Un coefficient égalant habituellement 3.1
L = Longueur de la crête en pieds
h = Charge au-dessus de la crête en pieds

Pour le mode d'écoulement plein tuyau, l'équation devant être utilisée se lit comme suit:

$$Q = (\pi D^2/4) \sqrt{2gH/[1+K_e + K_b + (185.1\ n^1/D^{4/3})}$$

Où Q = Débit ou taux d'évacuation en pi^3 / sec
D = Diamètre de la conduite horizontale en pieds
g = Accélération gravitaire (52.2 pi/sec^2)
H = Charge totale du niveau maximal de l'eau dans le bassin à la sortie d'eau en pieds
$K_e + K_b$ = Coefficients de perte à l'entrée et dans le ou les coudes de conduite, (= à 1.00 pour les tuyaux ondulés et à 0,013 pour les tuyaux de béton)
n = Nombre de Manning (= à 0.025 pour les tuyaux ondulés et à 0.013 pour les tuyaux en béton)
1 = Longueur de la conduite horizontale en pieds

Il n'est pas possible d'obtenir directement la valeur de D par le biais de cette équation.

Il est alors recommandé de procéder avec une méthode d'essais - erreurs par laquelle les valeurs de D sont testées pour chacune des dimensions standard des conduites jusqu'à ce que l'équation soit résolue pour la valeur de Q donnée. Il est aussi possible d'utiliser les tableaux des pages suivantes.

En dernier lieu, il est important que soit planifié une méthode permettant de drainer le bassin de sédimentation afin de faciliter le nettoyage. Il est recommandé d'utiliser des drains français à cet effet plutôt que des drains ordinaires (pipe drains). Ceci permet d'éviter que le filtre utilisé ne se colmate si on retrouve beaucoup de limon et d'argile parmi les sédiments déposés.

TABLEAU A-3: ÉCOULEMENT DANS LES CONDUITES EN PI^3/SEC, N=0.025 POUR LA DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE DE LA CONDUITE HORIZONTALE POUR UN DÉVERSOIR AVEC CONDUITE EN MÉTAL ONDULÉ.

Pour l'entrée d'une conduite en métal ondulé $K_m = K_e + K_b = 1.0$ et 70 pieds de conduite en métal ondulé (Écoulement plein tuyau)

H, en pieds	6"	8"	10"	12"	15"	18"	21"	24"	30"	36"	42"	48"	54"	60"	66"	72"	78"	84"	90"	96"	102"
1	0.33	0.70	1.25	1.98	3.48	5.47	7.99	11.0	18.8	28.8	41.1	55.7	72.6	91.8	113	137	163	191	222	255	290
2	0.47	0.99	1.76	2.80	4.92	7.74	11.3	15.6	26.6	40.8	58.2	78.8	103	130	160	194	231	271	314	360	410
3	0.58	1.22	2.16	3.43	6.02	9.48	13.8	19.1	32.6	49.9	71.2	96.5	126	159	196	237	282	331	384	441	502
4	0.67	1.40	2.49	3.97	6.96	10.9	16.0	22.1	37.6	57.7	82.3	111	145	184	226	274	326	383	444	510	580
5	0.74	1.57	2.79	4.43	7.78	12.2	17.9	24.7	42.1	64.5	92.0	125	162	205	253	306	365	428	496	570	648
6	0.82	1.72	3.05	4.86	8.52	13.4	19.6	27.0	46.1	70.6	101	136	178	225	277	336	399	469	544	624	710
7	0.88	1.86	3.30	5.25	9.20	14.5	21.1	29.2	49.8	76.3	109	147	192	243	300	362	431	506	587	674	767
8	0.94	1.99	3.53	5.61	9.84	15.5	22.6	31.2	53.2	81.5	116	158	205	260	320	388	461	541	628	721	820
9	1.00	2.11	3.74	5.95	10.4	16.4	24.0	33.1	56.4	86.5	123	167	218	275	340	411	489	574	666	764	870
10	1.05	2.22	3.94	6.27	11.0	17.3	25.3	34.9	59.5	91.2	130	176	230	290	358	433	516	605	702	806	917
11	1.10	2.33	4.13	6.58	11.5	18.2	26.5	36.6	62.4	95.6	136	185	241	304	376	454	541	635	736	845	962
12	1.15	2.43	4.32	6.87	12.1	19.0	27.7	38.2	65.2	99.9	142	193	252	318	392	475	565	663	769	883	1004
13	1.20	2.53	4.49	7.15	12.6	19.7	28.8	39.8	67.8	104	148	201	262	331	408	494	588	690	800	919	1045
14	1.25	2.63	4.66	7.42	13.0	20.5	29.9	41.3	70.4	108	154	208	272	343	424	513	610	716	830	953	1085
15	1.29	2.72	4.83	7.68	13.5	21.2	30.9	42.8	72.8	112	159	216	281	355	439	531	631	741	860	987	1123
16	1.33	2.81	4.99	7.93	13.9	21.9	32.0	44.2	75.2	115	165	223	290	367	453	548	652	765	888	1019	1160
17	1.37	2.90	5.14	8.18	14.3	22.6	32.9	45.5	77.5	119	170	230	229	378	467	565	672	789	915	1051	1195
18	1.41	2.98	5.29	8.41	14.8	23.2	33.9	46.8	79.8	120	174	236	308	389	480	581	692	812	942	1081	1230
19	1.45	3.06	5.43	8.64	15.2	23.9	34.8	48.1	82.0	126	179	243	316	400	494	597	711	834	967	1111	1264
20	1.49	3.14	5.57	8.87	15.6	24.5	35.7	49.4	84.1	129	184	249	325	410	506	613	729	856	993	1139	1297
21	1.53	3.22	5.71	9.09	15.9	25.1	36.6	50.6	86.2	132	188	255	333	421	519	628	747	877	1017	1168	1329
22	1.56	3.29	5.85	9.30	16.3	25.7	37.5	51.8	88.2	135	193	261	341	430	531	643	765	898	1041	1195	1360
23	1.60	3.37	5.98	9.51	16.7	26.2	38.3	53.0	90.2	138	197	267	348	440	543	657	782	918	1064	1222	1390
24	1.63	3.44	6.11	9.72	17.0	26.8	39.1	54.1	92.1	141	201	273	356	450	555	671	799	937	1087	1248	1420
25	1.66	3.51	6.23	9.92	17.4	27.4	39.9	55.2	94.0	144	206	279	363	459	566	685	815	957	1110	1274	1450
26	1.70	3.58	6.36	10.1	17.7	27.9	40.7	56.3	95.9	147	210	284	370	468	577	699	831	976	1132	1299	1478
27	1.73	3.65	6.48	10.3	18.1	28.4	41.5	57.4	97.7	150	214	290	377	477	588	712	847	994	1153	1324	1507
28	1.76	3.72	6.60	10.5	18.4	29.0	42.3	58.4	99.5	153	218	295	384	486	599	725	863	1013	1174	1348	1534
29	1.79	3.78	6.71	10.7	18.7	29.5	43.0	59.5	101	155	221	300	391	494	610	738	878	1030	1195	1372	1561
30	1.82	3.85	6.83	10.9	19.1	30.0	43.7	60.5	103	158	225	305	398	503	620	750	893	1048	1216	1396	1588
L, en pieds	Facteurs de correction pour d'autres longueurs de conduites																				
20	1.69	1.63	1.58	1.53	1.47	1.42	1.37	1.34	1.28	1.24	1.20	1.18	1.16	1.14	1.13	1.11	1.10	1.10	1.09	1.08	1.08
30	1.44	1.41	1.39	1.36	1.32	1.29	1.27	1.24	1.21	1.18	1.15	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06
40	1.28	1.27	1.25	1.23	1.21	1.20	1.18	1.17	1.14	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04
50	1.16	1.16	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.07	1.06	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03
60	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01
70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
80	.94	.94	.95	.95	.95	.95	.96	.96	.96	.97	.97	.97	.98	.98	.98	.98	.98	.98	.99	.99	.99
90	.89	.89	.90	.90	.91	.91	.92	.92	.93	.94	.94	.95	.95	.96	.96	.96	.97	.97	.97	.97	.94
100	.85	.85	.86	.86	.87	.88	.89	.89	.90	.91	.92	.93	.93	.94	.94	.95	.95	.95	.96	.96	.94
120	.78	.79	.79	.90	.81	.82	.83	.83	.85	.86	.87	.89	.89	.90	.91	.89	.92	.93	.93	.94	.92
140	.72	.73	.74	.75	.76	.77	.78	.79	.81	.82	.84	.85	.86	.87	.88	.86	.89	.90	.91	.91	.90
160	.68	.69	.69	.70	.71	.73	.74	.75	.77	.79	.80	.82	.83	.84	.85	.92	.87	.88	.89	.89	

TABLEAU A-4: ÉCOULEMENT DANS LES TUYAUX EN PI^3/SEC, N=0.0013 POUR LA DÉTERMINATION DU DIAMÈTRE DE LA CONDUITE HORIZONTALE POUR UN DÉVERSOIR AVEC CONDUITE EN BÉTON.

Pour l'entrée d'une conduite de béton armé $K_m = K_e + K_b = 0.65$ et 70 pieds de conduite de béton armé (Écoulement plein tuyau).

H, en pieds	12"	15"	18"	21"	24"	30"	36"	42"	48"	54"	60"	66"	72"	78"	84"	90"	96"	102"
1	3.22	5.44	8.29	11.8	15.9	26.0	38.6	53.8	71.4	91.5	114	139	167	197	229	264	302	342
2	4.55	7.69	11.7	16.7	22.5	36.8	54.6	76.0	101	129	161	197	236	278	324	374	427	483
3	5.57	9.42	14.4	20.4	27.5	45.0	66.9	93.1	124	159	198	241	289	341	397	458	523	592
4	6.43	10.9	16.6	23.5	31.8	52.0	77.3	108	143	183	228	278	334	394	459	529	604	683
5	7.19	12.2	18.5	26.3	35.5	58.1	86.4	120	160	205	255	311	373	440	513	591	675	764
6	7.88	13.3	20.3	28.8	38.9	63.7	94.6	132	175	224	280	341	409	482	562	647	739	837
7	8.51	14.4	21.9	31.1	42.0	68.8	102	142	189	242	302	368	441	521	607	699	798	904
8	9.10	15.4	23.5	33.3	44.9	73.5	109	152	202	259	323	394	472	557	685	748	854	966
9	9.65	16.3	24.9	35.3	47.7	78.0	116	161	214	275	342	418	500	590	688	793	905	1025
10	10.2	17.2	26.2	37.2	50.2	82.2	122	170	226	289	361	440	527	622	725	836	954	1080
11	10.7	18.0	27.5	39.0	52.7	86.2	128	178	237	304	379	462	553	653	761	877	1001	1133
12	11.1	18.9	28.7	40.8	55.0	90.1	134	186	247	317	395	482	578	682	794	916	1045	1184
13	11.6	19.6	29.9	42.4	57.3	93.7	139	194	257	330	411	502	601	710	827	953	1088	1232
14	12.0	20.4	31.0	44.1	59.4	97.3	145	201	267	342	427	521	624	736	858	989	1129	1278
15	12.5	21.1	32.1	45.6	61.5	101	150	208	277	354	442	539	646	762	888	1024	1169	1323
16	12.9	21.8	33.2	47.1	63.5	104	155	215	286	366	457	557	667	787	917	1057	1207	1367
17	13.3	22.4	34.2	48.5	65.5	107	159	222	294	377	471	574	688	812	946	1090	1244	1409
18	13.7	23.1	35.2	49.9	67.4	110	164	228	303	388	484	591	708	835	973	1121	1280	1450
19	14.0	23.7	36.1	51.3	69.2	113	168	234	311	399	497	607	727	858	1000	1152	1315	1489
20	14.4	24.3	37.1	52.6	71.0	116	173	240	319	409	510	623	746	880	1026	1182	1350	1528
21	14.7	24.9	38.0	53.9	72.8	119	177	246	327	419	523	638	764	902	1051	1211	1383	1566
22	15.1	25.5	38.9	55.2	74.5	122	181	252	335	429	535	653	782	923	1076	1240	1415	1603
23	15.4	26.1	39.8	56.5	76.2	125	186	258	342	439	547	668	800	944	1100	1268	1447	1639
24	15.8	26.7	40.6	57.7	77.8	127	189	263	350	448	559	682	817	964	1123	1295	1478	1674
25	16.1	27.2	41.5	58.9	79.4	130	193	269	357	458	571	696	834	984	1147	1322	1509	1708
26	16.4	27.7	42.3	60.0	81.0	133	197	274	364	467	582	710	850	1004	1169	1348	1539	1742
27	16.7	28.3	43.1	61.2	82.5	135	201	279	371	476	593	723	867	1023	1192	1373	1568	1775
28	17.0	28.8	43.9	62.3	84.1	138	204	285	378	484	604	737	883	1041	1214	1399	1597	1808
29	17.3	29.3	44.7	63.4	85.5	140	208	290	384	493	615	750	898	1060	1235	1423	1625	1840
30	17.6	29.8	45.4	64.5	87.0	142	212	294	391	501	625	763	913	1078	1256	1448	1653	1871
L, en pieds	Facteurs de correction pour d'autres longueurs de conduites																	
20	1.30	1.24	1.21	1.18	1.15	1.12	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.03
30	1.22	1.18	1.15	1.13	1.12	1.09	1.08	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02
40	1.15	1.13	1.11	1.10	1.08	1.07	1.05	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
50	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
60	1.04	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
80	.96	.97	.97	.97	.98	.98	.98	.99	.99	.99	.99	.99	.99	.99	.99	.99	.99	.99
90	.93	.94	.94	.95	.95	.96	.97	.97	.98	.98	.98	.98	.98	.99	.99	.99	.99	.99
100	.90	.91	.92	.93	.93	.95	.95	.96	.97	.97	.97	.98	.98	.98	.98	.98	.98	.99
120	.84	.86	.87	.89	.90	.91	.93	.94	.94	.95	.96	.96	.96	.97	.97	.97	.97	.98
140	.80	.82	.83	.85	.86	.88	.90	.91	.92	.93	.94	.94	.95	.95	.96	.96	.96	.97
160	.76	.78	.80	.82	.83	.86	.88	.89	.90	.91	.92	.93	.94	.94	.95	.95	.95	.96

5) L'évacuateur d'urgence

Un déversoir déchargeant ses eaux dans un ruisseau ou un cours d'eau stabilisé en aval du bassin constitue un bon évacuateur d'urgence. Le volume d'eau excédant la capacité hydraulique de l'évacuateur principal étant alors évacué vers un point plus bas que le niveau des eaux à l'intérieur du bassin. Le déversoir d'urgence devrait pouvoir évacuer le débit de pointe (Q = C:A) d'un orage de petite fréquence tel que 1/100 ans ou 1/50 ans.

Le meilleur emplacement pour l'évacuateur d'urgence est sur un des côtés de la digue de l'évacuateur principal. La crête du déversoir de même que le canal de sortie devraient être excavés à même le talus adjacent.

Ainsi localisée, la crête du déversoir est plus stable et moins sujette aux brèches qu'un déversoir construit à même le remblai ou à même la digue du bassin de sédimentation.

Lorsque les caractéristiques du terrain ne permettent pas que le déversoir d'urgence soit construit sur un des côtés du bassin, il devra être construit sur la digue. Cette dernière devra alors être protégée de façon adéquate contre l'érosion.

Indépendamment de l'endroit où est installé le déversoir, les caractéristiques hydrauliques demeurent les mêmes à moins que le matériau constituant la crête de l'évacuateur ne modifie et influence la relation charge-débit.

Ainsi, dans l'exemple qui suit, la rugosité de la crête est représentée par un facteur N de Manning de 0.04 typique des surfaces recouvertes d'herbes et de certains perrés ou enrochement de protection. Si le matériau utilisé pour la crête possède une surface de rugosité inférieure à 0.04 (ciment, asphalte,...) le débit est susceptible d'augmenter pour une charge donnée. Si cet aspect n'est pas pris en considération lors de l'étude, la conception devrait être faite avec des chiffres conservateurs en terme de capacité, mais la stabilité de l'ouvrage risque d'être diminuée à cause d'une plus grande vitesse d'écoulement. Par contre, les surfaces de moindre rugosité sont généralement recouvertes de matériaux protecteurs pouvant supporter de plus grandes vitesses que

les surfaces herbacées. Si toutes ces différentes facettes sont prises en considération, le tableau A-5 basé sur un facteur N de Manning de 0.04 est susceptible de fournir des données satisfaisantes relativement à l'évacuateur à construire.

La figure A-23 présente le croquis d'un évacuateur d'urgence de même que des explications concernant le tableau précédent.

Les facteurs de correction pour ce tableau sont:

1.25	pour	= 0.02
1.15	pour	= 0.03
0.85	pour	= 0.06

La relation existant entre le débit, la charge et la largeur du fond du déversoir est modifiée par la rugosité et la longueur de la crête du déversoir. Aucune équation simple d'écoulement en paroi ne peut définir cette relation. Elle est déterminée par les calculs du profil de l'eau de surface de la section de contrôle en amont à l'intérieur du réservoir ou du bassin. Les résultats ainsi obtenus sont ensuite présentés sous forme de tableau.

Le tableau A-5 a été préparé en fonction d'une crête d'une longueur de 20 pieds (6 m) bien que ce ne soit pas là un critère absolu de construction.

Il est possible de déterminer les valeurs de Hp (différence de hauteur entre la crête de l'évacuateur à la section de contrôle et la surface de l'eau dans le réservoir, en pied), de la charge du déversoir et de b la largeur du fond du déversoir en entrant la valeur du débit dans le tableau A-5. Les caractéristiques du site peuvent limiter Hp ou b mais c'est tout de même la combinaison de valeurs qui s'intègre le mieux audit site qui devrait être retenue.

La valeur de Q doit être divisée par le facteur de correction et c'est cette valeur corrigée qui doit être utilisée dans le tableau. Ainsi, par exemple, une valeur de Q de 50 avec facteur de Manning n de 0.02 donne une valeur corrigée de Q égale à 40.

La valeur correspondante à un Hp = 1.2 dans le tableau pour

TABLEAU A-5: VALEURS POUR LA CONCEPTION DES DÉVERSOIRS AVEC UNE CRÊTE DE 20 PIEDS, DES PENTES LATÉRALES DE 2:1, RECOUVERTES DE VÉGÉTATION, ET UN NOMBRE DE MANNING 'N' DE 0.04.

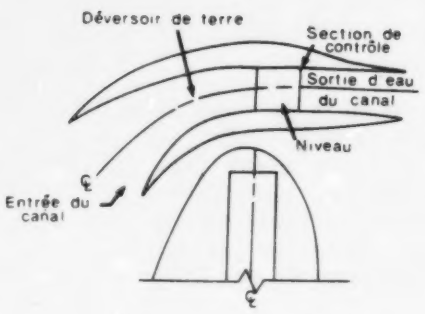
Niveau Hp en pied	Variable	LARGEUR DU FOND DU DÉVERSOIR (b) EN PIEDS																	
		8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
0.5	Q	6	7	8	10	11	13	14	15	17	18	20	21	22	24	25	27	28	
	V	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	
	S	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
	X	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
0.6	Q	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	35	37	39	
	V	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	S	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
	X	36	36	36	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	
0.7	Q	11	13	16	18	20	23	25	28	30	33	35	38	41	43	44	46	48	
	V	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	
	S	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4	
	X	39	40	40	40	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	
0.8	Q	13	16	19	22	25	28	32	35	38	42	45	48	48	51	54	57	60	
	V	3.5	3.5	3.5	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	
	S	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	
	X	44	44	44	44	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	
0.9	Q	17	20	24	28	32	35	39	43	47	51	55	57	60	64	68	71	75	
	V	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	
	S	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	
	X	47	47	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	
1.0	Q	20	24	29	33	38	42	47	51	56	61	63	68	72	77	81	86	90	
	V	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	
	S	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	X	51	51	51	51	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	52	
1.1	Q	23	28	34	39	44	49	54	60	65	70	74	79	84	89	95	100	105	
	V	4.2	4.2	4.2	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	
	S	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	
	X	53	53	53	53	53	53	53	54	54	54	54	54	54	54	54	54	54	
1.2	Q	28	33	40	45	51	58	64	69	76	80	86	92	98	104	110	116	122	
	V	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	
	S	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	
	X	59	59	59	59	59	59	59	59	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
1.3	Q	32	38	46	53	58	65	73	80	86	91	99	106	112	119	125	133	140	
	V	4.5	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	4.7	
	S	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
	X	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63	64	64	64	64	64	64	
1.4	Q	37	44	51	59	65	74	82	90	96	103	111	119	127	134	142	150	158	
	V	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	
	S	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	
	X	65	66	66	66	66	67	67	67	67	67	67	67	68	68	68	68	68	
1.5	Q	41	50	58	66	75	85	93	101	108	116	125	133	142	150	160	169	178	
	V	4.8	4.9	4.9	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.1	5.1	5.1	
	S	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	
	X	69	69	70	70	71	71	71	71	71	71	71	72	72	72	72	72	72	
1.6	Q	46	56	65	75	84	94	104	112	122	132	142	149	158	168	178	187	197	
	V	5.0	5.1	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	
	S	2.6	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	X	73	74	74	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	76	
1.7	Q	52	62	72	83	94	105	115	126	135	145	156	167	175	187	196	206	217	
	V	5.2	5.2	5.2	5.3	5.3	5.3	5.3	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	
	S	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
	X	76	78	79	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
1.8	Q	58	69	81	93	104	116	127	138	150	160	171	182	194	204	214	225	235	
	V	5.3	5.4	5.4	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	
	S	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
	X	80	82	83	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	84	
1.9	Q	64	76	88	102	114	127	140	152	164	175	188	201	213	225	235	248	260	
	V	5.5	5.5	5.5	5.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	
	S	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	
	X	84	85	86	87	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	
2.0	Q	71	83	97	111	125	138	153	164	178	193	204	218	232	245	255	269	283	
	V	5.6	5.7	5.7	5.7	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	
	S	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
	X	88	90	91	91	91	91	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	92	
2.1	Q	77	91	107	122	135	149	162	177	192	207	220	234	250	267	276	291	305	
	V	5.7	5.8	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
	S	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
	X	92	93	95	95	95	95	95	95	95	95	96	96	96	96	96	96	96	
2.2	Q	84	100	116	131	146	163	177	194	210	224	238	253	269	286	301	314	330	
	V	5.9	5.9	6.0	6.0	6.0	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	
	S	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
	X	96	98	99	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
2.3	Q	90	108	124	140	158	175	193	208	226	243	258	275	292	306	323	341	354	
	V	6.0	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	
	S	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	
	X	100	102	102	103	103	103	104	104	104	105	105	105	105	105	105	105	105	
2.4	Q	99	116	136	152	170	189	206	224	241	260	275	294	312	327	346	364	378	
	V	6.1	6.2	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	
	S	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	
	X	105	105	106	107	107	108	108	108	108	109	109	109	109	109	109	109	109	

NOTES:

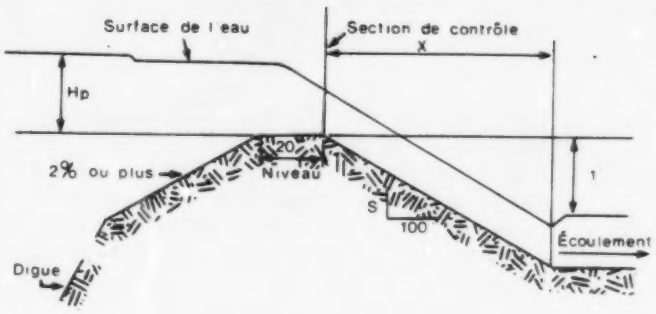
1) Pour une valeur de H_p donnée, une diminution de la pente à la sortie, à partir de S tel que présenté dans le tableau A-5, entraîne une baisse du débit à la sortie de l'évacuateur, alors qu'une augmentation de cette pente, toujours à partir de S, n'entraîne pas une hausse de débit.
Si une pente Se plus abrupte que S est utilisée, la vitesse (V_e) dans le canal de sortie augmentera alors en fonction de l'équation suivante:

$$V_e = V\left(\frac{S_e}{S}\right)^{0.3}$$

2) Les données du tableau A-5 situées à droite des traits verticaux plus prononcés devaient être utilisées avec précaution afin d'éviter que les dimensions transversales soient incorrectement proportionnées ou aient des vitesses excédant 6 pi/sec.



-Déversoir en terre vu en plan



-Profil le long ℄ du déversoir en terre

-Vue transversale du déversoir en terre à la section de contrôle

LEGENDE

n = Coefficient de rugosité de Manning
H_p = Différence de hauteur existant entre la crête du déversoir à la section de contrôle et la surface de l'eau dans le réservoir, en pieds
b = Largeur du fond du déversoir à la section de contrôle, en pieds
Q = Débit total
V = Vitesse en pi/sec, retrouvée dans le canal au bas de la section de contrôle avec un débit Q égal à celui retenu pour la conception, si la pente (S) montrée est utilisée
S = Pente la plus douce (en %) acceptable pour le canal au bas de la section de contrôle
K = Longueur minimale du canal au bas de la section de contrôle, en pieds
Z = Raideur de la pente latérale

FIGURE A-23: CROQUIS D'UN EVACUATEUR D'URGENCE ET EXPLICATIONS RELATIVES AU TABLEAU A-6

la largeur du fond du bassin est de 12 pieds (3.7 mètres). Si la valeur du N de Manning avait été de 0.04 (Q = 50), la largeur nécessaire aurait été de près de 16 pieds (4.9 mètres).

Les valeurs du tableau sont basées sur des données se rapportant à un déversoir et à un canal de sortie caractérisés par une couverture herbacée. Si l'herbe ne croît que difficilement, s'il est impossible d'avoir une couverture suffisante dans un laps de temps donné ou que les caractéristiques du site ne se prêtent tout simplement pas à la croissance de végétaux, d'autres mesures de protection devront alors être envisagées (jute, fibre de verre,...).

E) LES MEMBRANES GÉOTEXTILES EN MILIEU AQUATIQUE

MESURES D'ATTÉNUATION:

E) CONSTRUCTION PRÈS OU DANS LES COURS D'EAU ET LACS - UTILISATION DE MEMBRANES GÉOTEXTILES (STADE EXPÉRIMENTAL)

GÉNÉRALITES

Peu de méthodes ont été expérimentées jusqu'à maintenant pour éviter la contamination des lacs et rivières lorsque d'importants travaux de construction (dragage, excavation, remblayage, etc.) sont effectués dans des cours d'eau ou sur leurs rives.

La majorité des techniques de contrôle de l'érosion existantes, telles que présentées dans les annexes précédentes, ne réussissent pas toujours à prévenir le déplacement des matières fines. De plus, ces méthodes sont parfois coûteuses et rarement applicables dans les cas de travaux de dragage ou de remblayage qui se font directement dans l'eau ou à proximité de plans d'eau.

En fait, le meilleur moyen de protéger adéquatement les zones écologiques sensibles en aval des sites de travaux est de limiter la propagation des sédiments mis en suspension.

L'utilisation de membranes géotextiles synthétiques, comme celles qui furent expérimentées en Ontario et dans quelques états américains, semblent constituer une méthode efficace à cet effet. Ces membranes poreuses laissent circuler l'eau mais non les sédiments qui restent alors confinés dans une zone délimitée par la rive et la membrane.

Il existe plusieurs types de matériaux et techniques d'installation sur le marché. Les membranes peuvent être utilisées comme clôtures à limon tant sur la terre ferme qu'en eaux peu profondes et en eaux profondes.

CLOTURE A LIMON (TERRE FERME)

Ce type de "clôture" fonctionne selon le même principe que la "natte de retenue de sédiments" présentée à la page C-33. Installée sur la terre ferme, elle sert à filtrer l'eau de ruissellement chargée de sédiments.

BARRIÈRE A LIMON EN EAUX PEU PROFONDES

Il est possible d'isoler le site des travaux en érigeant une barrière à limon. La membrane est alors soutenue par des poteaux ou piquets enfoncés dans le lit du plan d'eau.

La toile géotextile peut être soit perméable ou imperméable. Cette dernière convient particulièrement aux plans d'eau où on ne retrouve aucune source ou entrée d'eau à l'intérieur de la zone délimitée par la barrière. La membrane perméable convient bien aux zones avec marées ou pour des barrières à l'intérieur desquelles on retrouve des sources d'eau.

BARRIÈRES A LIMON EN EAUX PROFONDES

Il existe deux principaux systèmes de retenue pour les sédiments provenant de travaux en eaux profondes, soit la mise en place de batardeaux ou de barrières flottantes.

L'utilisation de batardeaux est toutefois susceptible d'occasionner autant d'impacts que les travaux nécessitant leur mise en place. Dépendamment des matériaux utilisés, leur coût peut être de huit à dix fois plus élevé que celui des barrières flottantes.

Les barrières à limon utilisées en eaux profondes sont des barrières flottantes pouvant ou non toucher le lit du plan d'eau. Ainsi, le Département d'État aux transports de la Floride a déjà utilisé ce type de barrière, qui, sans être fixée au fond du cours d'eau, pénètre tout de même la couche thermique froide du fond sur environ 1 mètre. De cette manière, lorsque les matières en suspension atteignent la membrane, elles sont dirigées vers la couche plus froide du fond et se sédimentent.

Ces barrières flottantes consistent en une membrane géotextile à laquelle sont fixés des pesées à une extrémité et des flotteurs à l'autre. Plusieurs de ces barrières placées parallèlement les unes aux autres dans un lac ou un cours d'eau, ont démontré une très grande efficacité.

La figure A-24 permet de visualiser une barrière de type "Florida" utilisée aux États-Unis.

EXEMPLE

Projet de réaménagement routier (11 km) dans le nord de l'Ontario avec construction d'un pont pour la traversée du lac Vernon.

Problématique

Plusieurs impacts importants étaient prévus si une grande quantité de sédiments était mise en suspension dans le lac à la suite des travaux. Le lac Vernon sert en effet de prise d'eau potable à la municipalité de Huntsville et constitue un habitat important du bar à petite bouche. Des compensations financières devaient aussi être prévues pour les résidents si la turbidité augmentait de façon importante dans le lac.

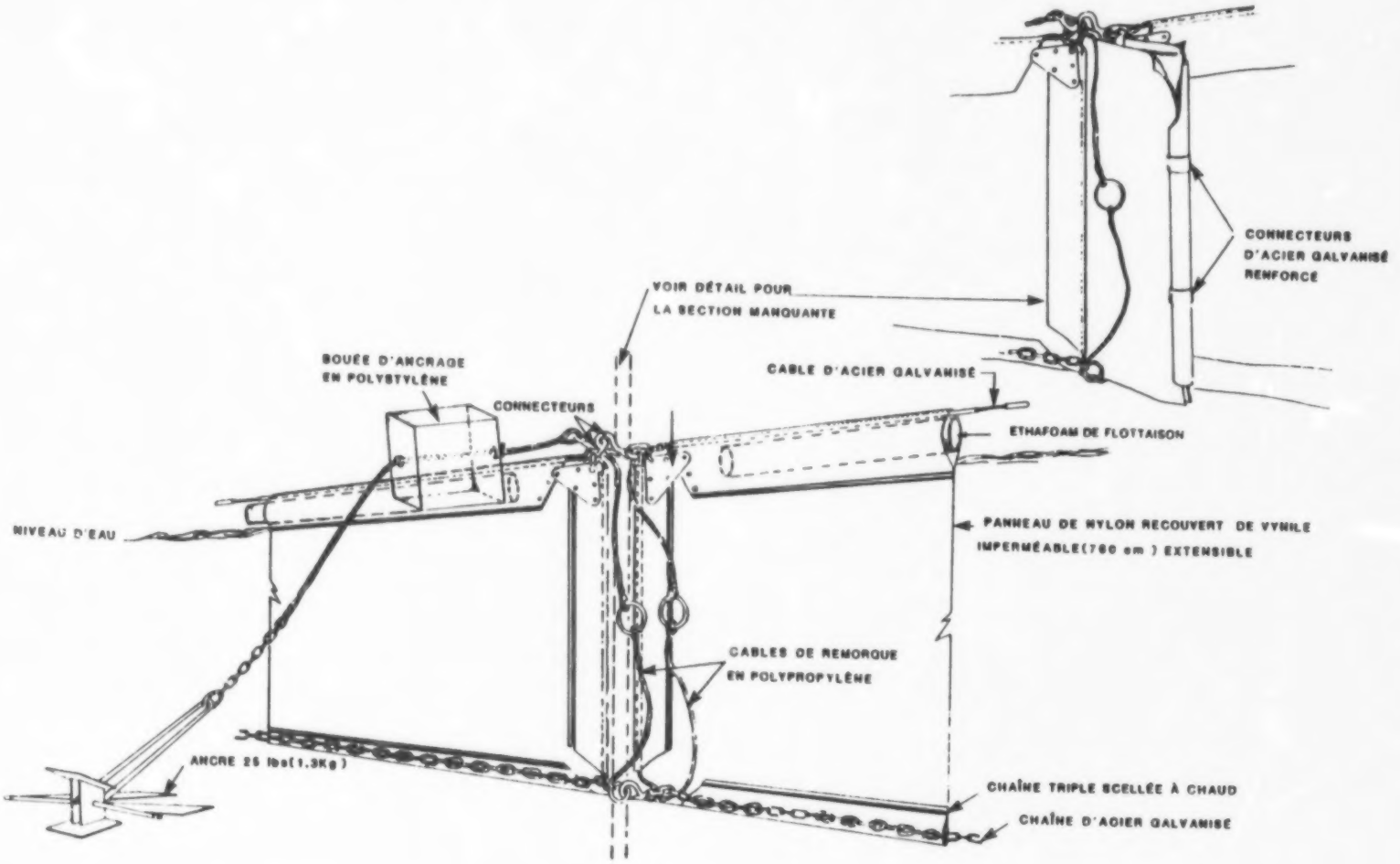


FIGURE A-24: BARRIERE DE TYPE"FLORIDA"((D'APRÈS RIVERS & ALLEN, 1975)

Compte tenu de la quantité importante de matériel à excaver pour la construction des culées du pont (40 000 m^3) et des impacts appréhendés, les concepteurs décidèrent, au printemps 1978, d'installer des barrières à sédiments afin de minimiser l'importance des impacts prévus durant toute la durée des travaux.

Les figures A-25, A-26 et A-27 permettent de visualiser ces barrières et les endroits où elles furent installées.

Le type de barrière plus spécialement utilisée au lac Vernon se composait de flotteurs de 130 mm de diamètres et de 380 mm de longueur en éthafoam, de pesées de béton espacées de 2 m chacune et d'une membrane constituée de plusieurs panneaux de Fabrene TM (Dupont Canada) cousus ensemble.

Les photos 36, 37, 38 et 39 permettent de visualiser certaines étapes de l'assemblage et de l'installation de cette barrière.

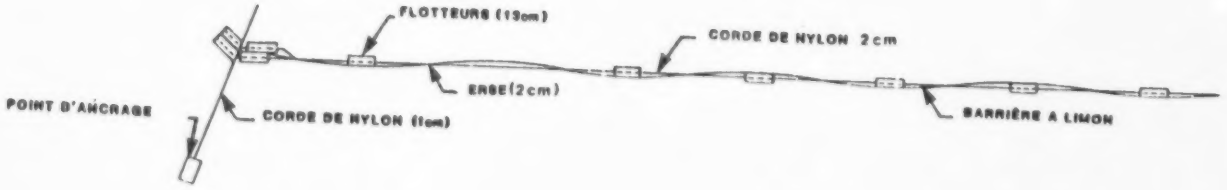
Efficacité

Selon le ministère des Transports de l'Ontario, les barrières à limon du lac Vernon semblent avoir été efficaces à 95 % pour retenir les sédiments.

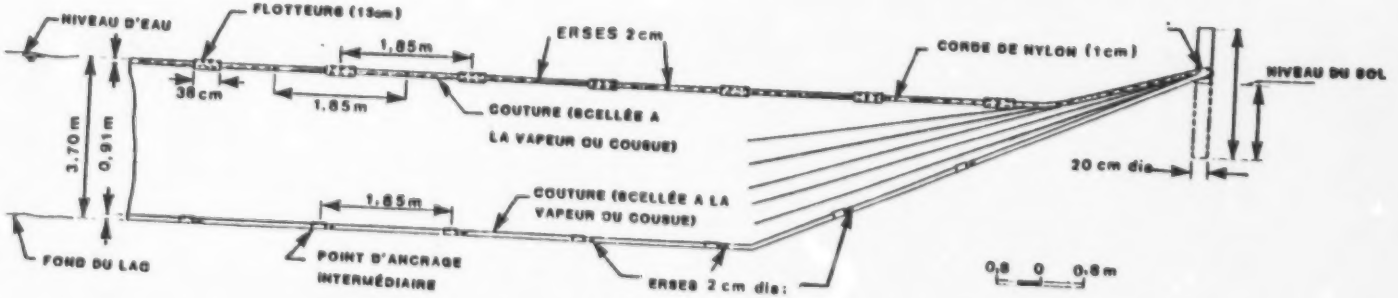
Des turbidomètres Haack placés à l'intérieur et à l'extérieur de la zone délimitée par les membranes ont permis d'estimer le degré d'efficacité de ces dernières durant les travaux. Ainsi, les concentrations de sédiments atteignaient plus de 200 NTU (unité de turbidité néphélométrique) à l'intérieur du bassin formé par la barrière et n'étaient que d'environ 2 NTU à l'extérieur (voir photos 40, 41 et 42).

Cette méthode présente cependant certains désavantages. Ainsi:

- la membrane est susceptible de laisser s'échapper des sédiments lorsque le fond du lac ou du cours d'eau est irrégulier;

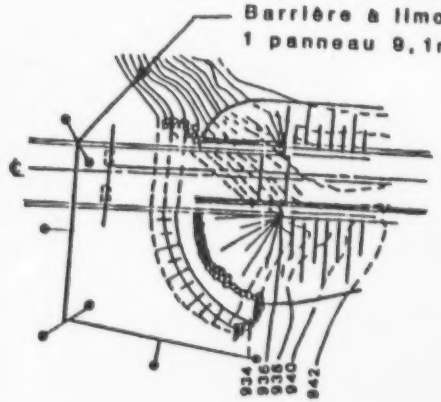


VUE EN PLAN

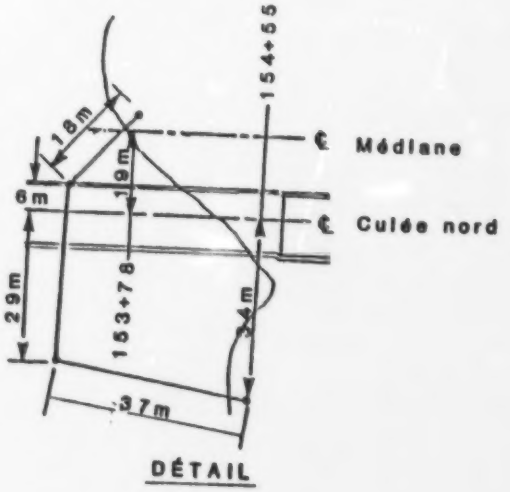


VUE EN HAUTEUR

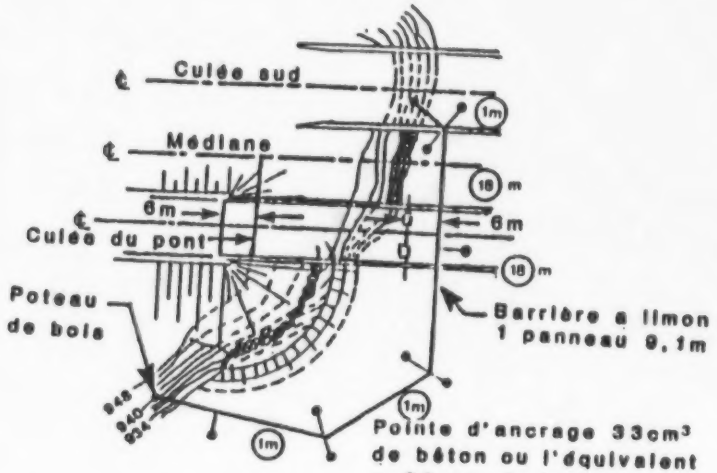
FIGURE A-25 : BARRIÈRE À LIMON UTILISÉE AU LAC VERNON.



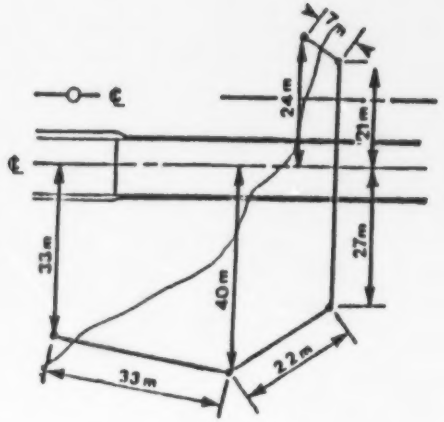
PLAN CULÉE NORD



DÉTAIL



PLAN CULÉE SUD



DÉTAIL

FIGURE A-26 : BARRIÈRES À LIMON DU LAC VERNON (CULÉES SUD ET NORD)

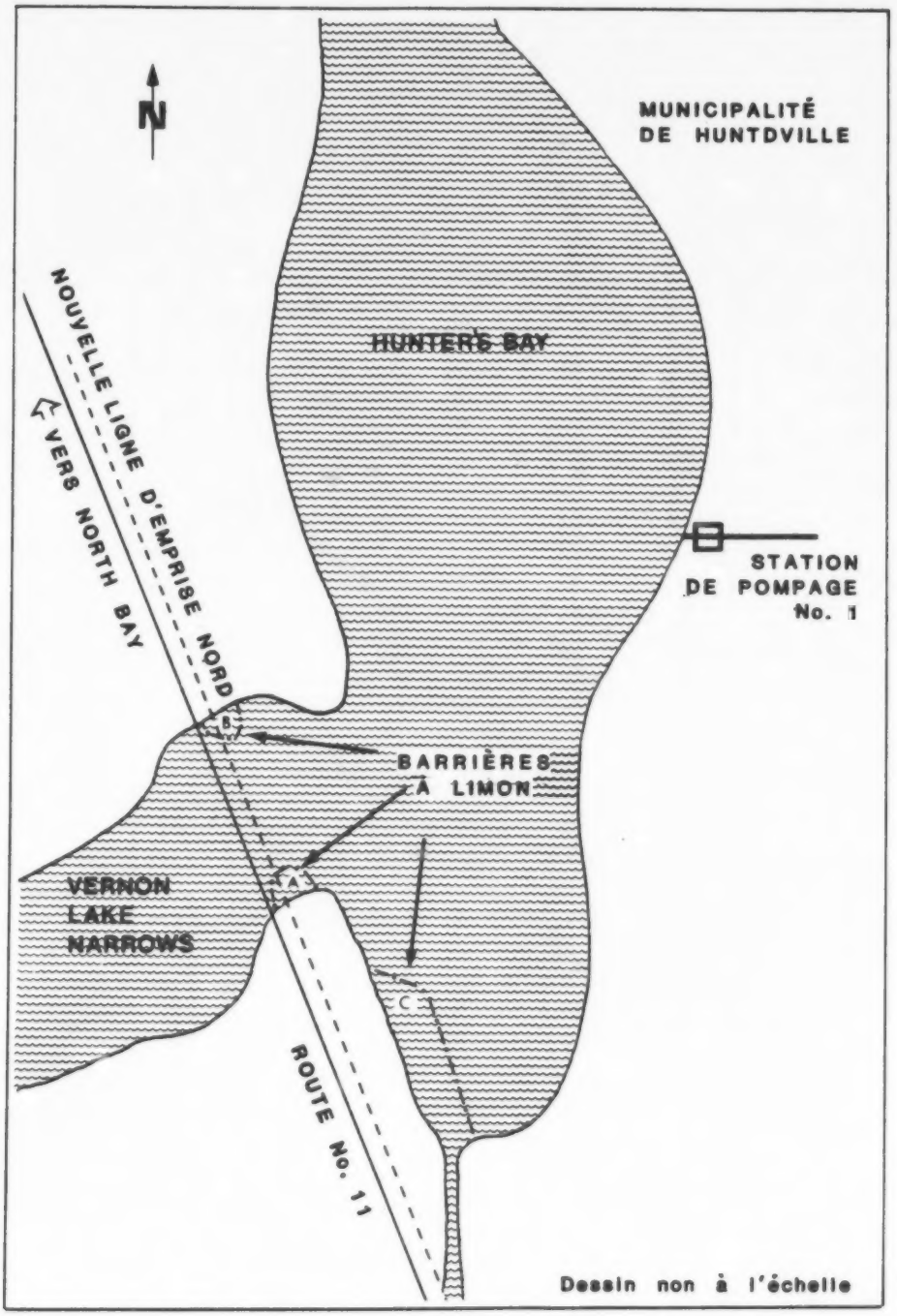


FIGURE A-27: LOCALISATION DES BARRIÈRES À LIMON DU LAC VERNON/HUNTER'S BAY.

- l'accumulation de sédiments au bas de la membrane écrase littéralement cette dernière, ce qui peut avoir pour effet de submerger la section supérieure malgré les flotteurs;

- il faut surveiller la formation de plis à la base de la membrane car les sédiments s'accumulent dans ces plis, alourdissent la membrane et risquent de la déchirer ou de l'entraîner vers le fond;

- dépendamment des travaux projetés, il peut se produire un déplacement de boue (mud wave) susceptible encore une fois d'alourdir la membrane et de l'entraîner vers le fond;

- les barrières pouvant être récupérées et réutilisées en majeure partie ou partiellement ne s'avèrent pas rentables sur de petits projets;

- chaque barrière doit être conçue spécialement selon les caractéristiques de chacun des projets.

Parmi les avantages inhérents à cette méthode, on retrouve:

- rentable sur des projets importants ou susceptibles d'affecter des sites très sensibles au niveau environnemental;

- la membrane est flexible et très durable;

- résiste aux intempéries (si entretenue);

- peut rester en place l'hiver;

- efficace là où les autres méthodes sont insuffisantes ou inutilisables;

- n'entrave pas la circulation des petites embarcations (voir photo 43);

- dépendamment des projets, il est possible de récupérer l'ensemble de la barrière ou certaines parties telles les pesées, les flotteurs, etc.

Les barrières très durables et entièrement récupérables seraient surtout rentables sur des projets de courte durée et sans présence de glace.

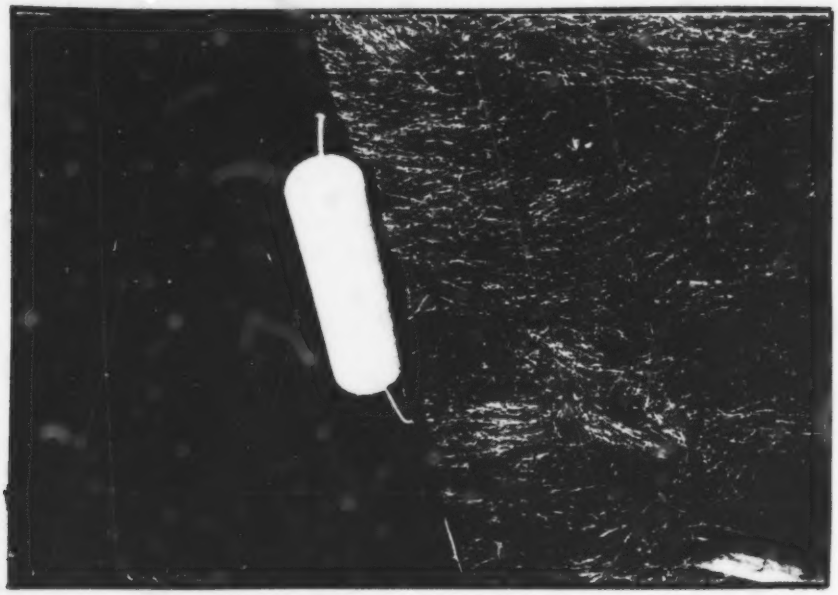


PHOTO 36: Flotteur en Éthafoam fixé à une membrane

PHOTO 37: Assemblage d'une barrière à limon sur la rive du lac Vernon (flotteurs, corde de nylon, membrane de fabrène)

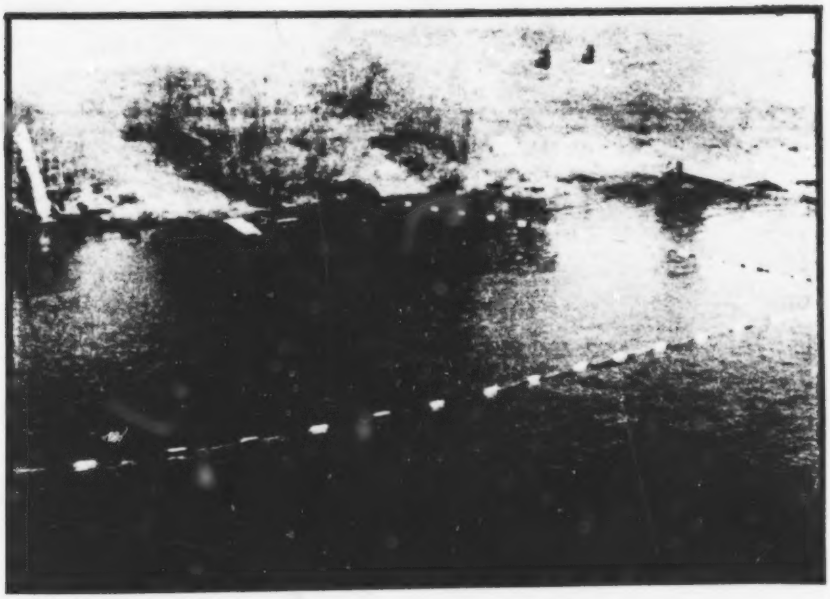


PHOTO 38: Assemblage de panneaux de fabrène

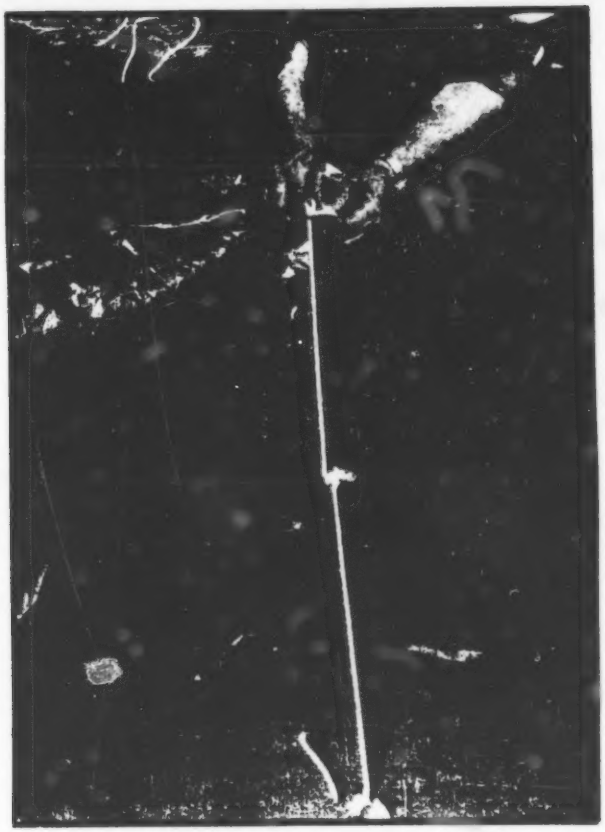


PHOTO 39: Barrière à limon installée autour du site de déblai pour la culée nord du pont

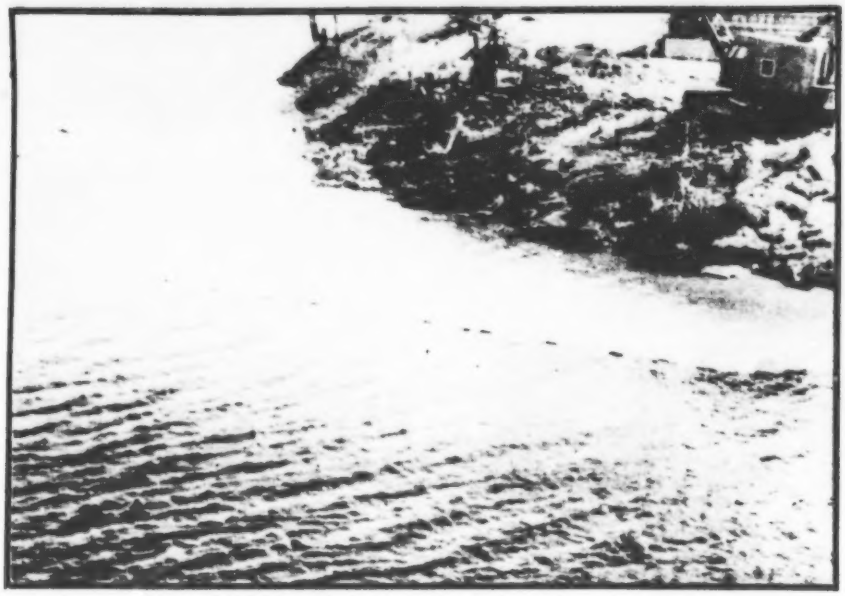


PHOTO 40: Les sédiments sont confinés a l'intérieur de la zone délimitée par la barrière avant les travaux d'excavation pour la culée sud du pont

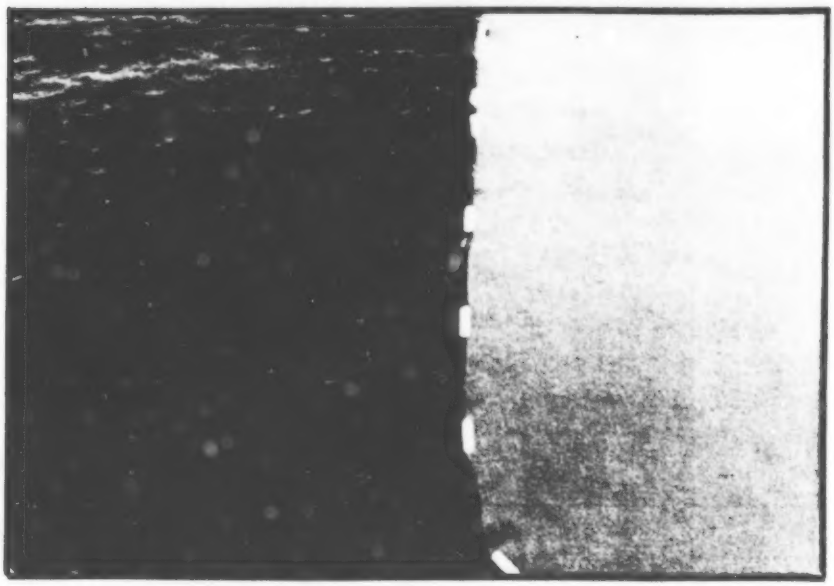


PHOTO 41: Barrière a limon retenant efficacement les matières en suspension

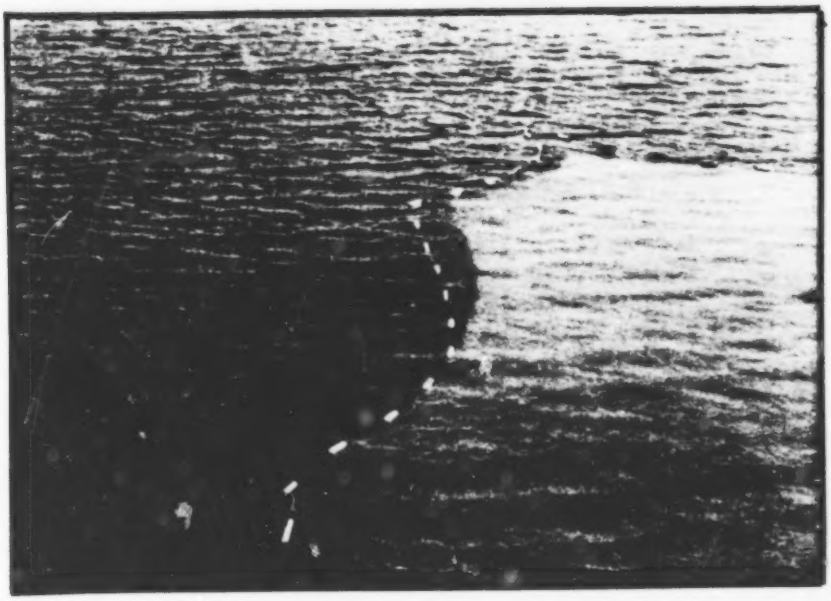


PHOTO 42: Barrière a limon performante malgré les courants et les vagues

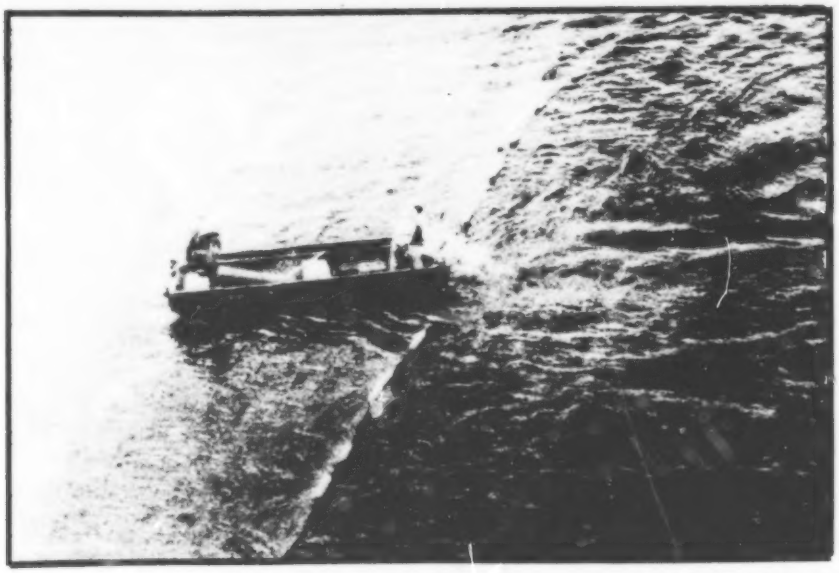
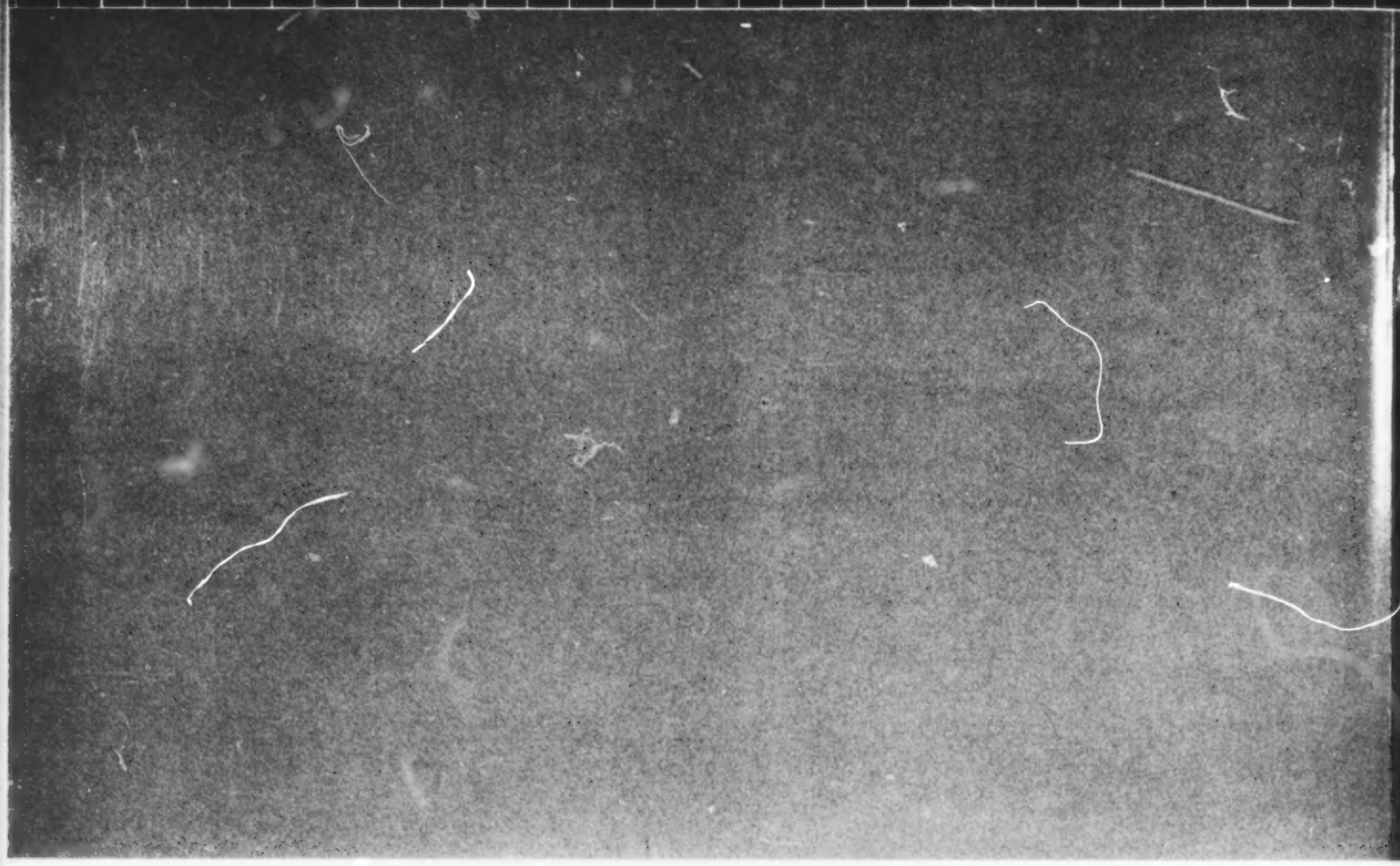


PHOTO 43: Embarcation traversant une membrane installée au lac Vernon



Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports

89-08